

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE  
PRODUÇÃO**

**UMA METODOLOGIA PARA IMPLEMENTAÇÃO DE  
TECNOLOGIA CNC EM MÁQUINAS  
SECCIONADORAS**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Jeferson Rafael Rodrigues dos Santos**

**Santa Maria, RS, Brasil  
2011**

# **UMA METODOLOGIA PARA IMPLEMENTAÇÃO DE TECNOLOGIA CNC EM MÁQUINAS SECCIONADORAS**

**Jeferson Rafael Rodrigues dos Santos**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Área de Concentração em Gerência da Produção, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Engenharia de Produção.**

**Orientador: Prof. Dr. Alexandre Dias da Silva**

**Santa Maria, RS, Brasil  
2011**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE  
PRODUÇÃO**

A Comissão Examinadora, abaixo-assinada,  
aprova a Dissertação de Mestrado

**UMA METODOLOGIA PARA IMPLEMENTAÇÃO DE TECNOLOGIA  
CNC EM MÁQUINAS SECCIONADORAS**

elaborada por

**Jeferson Rafael Rodrigues dos Santos**

como requisito parcial para obtenção do grau de  
**Mestre em Engenharia de Produção**

**COMISSÃO EXAMINADORA:**

**Alexandre Dias da Silva, Dr.**  
(Presidente/orientador)

**Inácio da Fontoura Limberger, Dr. (UFSM)**

**Moacir Eckhardt, Dr. (CTISM-UFSM)**

**Santa Maria, 22 dezembro de 2011.**

Dedico este trabalho à minha esposa, por ter me acompanhado durante toda a etapa de estudos no Curso de Mestrado e, especialmente, por ter me estimulado a perseguir o objetivo de ampliar minha formação acadêmica. Sem o apoio dela, eu não chegaria até aqui.

## **AGRADECIMENTOS**

A conclusão de uma Dissertação de Mestrado encerra uma etapa importante na minha formação acadêmica, a qual contou com a participação de muitas pessoas, que contribuíram de formas distintas para a realização do curso.

Agradeço ao Professor Alexandre, orientador deste trabalho, pelas dicas seguras de pesquisa, pelo estímulo à execução do estudo e pelo conhecimento compartilhado.

Agradeço aos professores do Programa de Pós-graduação em Engenharia de produção, pelas reflexões propostas em todas as disciplinas e pelo crescimento acadêmico proporcionado.

Agradeço à minha esposa Luana, pelo grande incentivo e apoio incondicional na busca por uma formação qualificada e na inserção no mundo acadêmico.

Agradeço aos meus pais e irmãos, pela ajuda na realização deste trabalho.

Agradeço especialmente ao Jânderson, meu irmão, pelos livros emprestados, pelos desenhos compartilhados e pelos diálogos trocados acerca do tema desta pesquisa.

Agradeço ainda à empresa Tramontini Implementos Agrícolas, onde trabalho, que permitiu minhas ausências para concluir os créditos das disciplinas e realizar as reuniões de orientação.

## **RESUMO**

Dissertação de Mestrado  
Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção  
Universidade Federal de Santa Maria

### **UMA METODOLOGIA PARA IMPLEMENTAÇÃO DE TECNOLOGIA CNC EM MÁQUINAS SECCIONADORAS**

AUTOR: JEFERSON RAFAEL RODRIGUES DOS SANTOS

ORIENTADOR: ALEXANDRE DIAS DA SILVA

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 22 de dezembro de 2011.

Este trabalho consiste em propor uma metodologia para conversão de máquinas seccionadoras convencionais em equipamentos CNC. O estudo é direcionado à indústria moveleira e considera a possibilidade de equipar esse tipo de equipamento com dois eixos de movimentação programáveis, através da utilização de dispositivos como guias lineares acionadas por motores com precisão de posicionamento. O sistema especifica um dos eixos para movimentação e posicionamento da chapa a ser cortada, conforme dimensões de projeto e outro eixo para deslocamento do sensor de fim de curso da ferramenta de corte. A técnica consiste em gerar automaticamente os programas CNC para a máquina adaptada a partir de dados provenientes de sistemas de geração de planos de corte. O trabalho mostra como implementar essa técnica através de aplicativos CAD e considera duas possibilidades de obtenção dos dados do Plano de Corte. No primeiro caso, a sequência de corte, definida em programas computacionais especializados, é convertida em um desenho do CAD, que posteriormente é processado para a geração do programa CNC para a máquina. A outra alternativa é considerar a possibilidade de implementação de técnicas dedicadas à definição do arranjo do corte, através de rotinas do CAD. Nesse caso, um método empírico foi proposto com o objetivo de demonstrar a técnica, que parte do princípio de que o projeto do móvel esteja virtualmente definido no CAD através de recursos 3D de desenho. Para demonstrar a validade da metodologia, foram elaborados dois projetos virtuais – uma cozinha e um quarto – para os quais foram gerados os planos de corte por diferentes técnicas e os respectivos programas CNC. O estudo realizado mostra que a quantidade de arranjos gerados para planos de corte através do método empírico proposto em relação a um software utilizado é a mesma. Além disso, nota-se que existe uma diferença de área ocupada, comparando-se o aproveitamento das peças na chapa no software e no método empírico, o mesmo não seria viável devido ao somatório de sobras geradas num período maior de produção.

**Palavras-chave:** Planos de Corte; Seccionadora; Aplicativos CAD, Programação CNC

## **ABSTRACT**

### **A METHODOLOGY FOR THE IMPLEMENTATION OF CNC TECHNOLOGY IN SECTIONING MACHINES**

**AUTHOR: JEFERSON RAFAEL RODRIGUES DOS SANTOS**

**ADVISOR: ALEXANDRE DIAS DA SILVA**

**Date and place of discussion: Santa Maria, December, 22nd, 2011.**

This work consists in proposing a methodology for the conversion of conventional sectioning machines in CNC equipments. The study is directed to the furniture industry and considers the possibility to outfit this kind of equipment with two programmable motion axes, through the utilization of devices as linear guides activated by engines with positioning accuracy. The system specifies one of the axes for motion and positioning of the plate to be counted, according to the dimensions of the project and other axis for the displacement of the limit sensor of the cutting tool. The technique consists in generating automatically the CNC programs for the adapted machine with data coming from systems of cutting plans generation. This work shows how to implement this technique through CAD application and considers two possibilities of obtaining the Cutting Plan data. On the first case, the sequence of cutting, defined with specialized computer programs, is converted in a drawing on CAD, that after is processed for the generation of the CNC program to the machine. The other alternative is to consider the possibility to implement techniques dedicated to the definition of the cutting arrangement, through CAD routines. In this case, a manual method was purposed with the goal to demonstrate the technique that assumes that the furniture project is virtually defined on CAD through 3D drawing resources. To demonstrate the validity of the methodology were elaborated two virtual projects – a kitchen and a bedroom – for which were generating the cutting plans with different techniques and their CNC programs. This study shows that the number of patterns produced for cutting planes through the proposed empirical method for a software used is the same. However, note that there is a difference in the occupied area, comparing the use of sheet parts in the software and the empirical method, it would not be feasible due to the sum of surpluses generated a longer period of production.

**Key-words:** Cutting Plans; Sectioning; CAD Applications; CNC Programming.

## LISTA DE TABELAS E QUADROS

Tabela 1 – Polos Moveleiros no Brasil .....	16
Tabela 2 – Modelo de dados do projeto .....	48
Tabela 3 – Projeto 1 (Cozinha) .....	66
Tabela 4 – Projeto 2 (Quarto) .....	67
Quadro 1 – Descrição do tipo da peça e espessura .....	42
Quadro 2 – Banco de dados dos aplicativos CAD .....	43
Quadro 3 – Programa CN – Arranjo 1 e 2 (Cozinha).....	75
Quadro 4 – Programa CN – Arranjo 1 e 2 (Quarto).....	80
Quadro 5 – Programa CN – Arranjo 3 e 4 (Quarto).....	80



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Ilustração corte unidimensional .....	18
Figura 2 – Corte bidimensional .....	19
Figura 3 – Corte tridimensional .....	19
Figura 4 – Sistemas CAD/CAM operando de forma integrada .....	23
Figura 5 – Carregamento traseiro das chapas .....	25
Figura 6 – Acessório adaptados na seccionadora convencional .....	34
Figura 7 – Ambiente CAD na construção de um projeto .....	37
Figura 8 – Representação geométrica dos <i>Layers</i> de uma peça 3D .....	38
Figura 9 – Identificação da espessura .....	39
Figura 10 – Espessura em Z .....	40
Figura 11 – Espessura em X .....	41
Figura 12 – Espessura em Y .....	41
Figura 13 – Modelo de um sólido .....	43
Figura 14 – Identificação do tipo da peça .....	44
Figura 15 – Identificação da superfície ou região .....	45
Figura 16 – Identificação da reta .....	45
Figura 17 – Identificação da coordenada de uma linha .....	46
Figura 18 – Representação da dimensão da peça .....	47
Figura 19 – Sentido do veio .....	48
Figura 20 – Ilustração das peças em uma chapa .....	50
Figura 21 – Fluxograma para geração do plano de corte e programa CNC .....	52
Figura 22 – Ilustração de uma máquina seccionadora.....	53
Figura 23 – Fluxograma do processo de identificação.....	54
Figura 24 – Algoritmo para corte de tira .....	56
Figura 25 – Excesso de peça .....	60
Figura 26 – Plano de corte gerado pelo Software Optmik .....	62
Figura 27 – Ilustração da formação das tiras .....	63
Figura 28 – Tombamento em 90° da primeira tira .....	64
Figura 29 – Projeto 1 (cozinha) .....	65
Figura 30 – Projeto 2 (quarto) .....	66
Figura 31 – Arranjo 1 e 2 do projeto 1 (cozinha) .....	68
Figura 32 – Posicionamento da chapa na máquina seccionadora.....	69
Figura 33 – Áreas de corte longitudinal para o arranjo 1do projeto cozinha.....	70
Figura 34 – Ilustração da tira do corte 2 .....	71
Figura 35 – Tombamento em 90° das tiras .....	72
Figura 36 – Tiras do corte longitudinal no Arranjo 2 .....	73
Figura 37 – Tombamento em 90° das tiras no Arranjo 2 .....	74
Figura 38 – Arranjo 1 e 2 do projeto 2 (quarto) .....	76
Figura 39 – Arranjo 3 e 4 do projeto 2 (quarto) .....	76
Figura 40 – Sequência de Corte no Arranjo 1 e 2 .....	77
Figura 41 – Sequência de Corte no Arranjo 3 e 4.....	78
Figura 42 – Tombamento em 90° das tiras do Arranjo 3 .....	79
Figura 43 – Arranjo do Software Optimik com o Projeto 1 (cozinha) .....	82
Figura 44 – Ilustração da formação das tiras .....	83
Figura 45 – Tombamento em 90° das tiras do Arranjo 1 .....	84
Figura 46 – Programação CN Arranjo 1 Projeto 1 (cozinha) .....	85
Figura 47 – Arranjo 2 do Software Optmik com o Projeto 1 (cozinha).....	85
Figura 48 – Programação CN Arranjo 2 Projeto 1 (cozinha) .....	87
Figura 49 – Arranjo 1 e 2 do Software Optmik com o Projeto 2 (quarto).....	88
Figura 50 – Programação CN Arranjo 1 e 2 Projeto 2 (quarto) .....	89
Figura 51 – Arranjo 3 e 4 do Software Optmik com o Projeto 2 (quarto).....	90
Figura 52 – Programação CN do Arranjo 3 e 4 do Projeto 2 (quarto).....	91

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	10
<b>1. 1 Programação automática de seccionadoras</b> .....	10
<b>1. 2. Objetivos</b> .....	12
1.2.1. Objetivo geral.....	12
1.2.2. Objetivos específicos.....	14
<b>2. REVISÃO DA LITERATURA</b> .....	15
<b>2.1. Cenário industrial moveleira</b> .....	15
<b>2.2. Classificação dos problemas de corte</b> .....	17
<b>2.3. Sistemas CAD/CAM</b> .....	20
<b>2.4. Máquinas seccionadoras</b> .....	24
<b>2.5. Geração do plano de corte para máquinas seccionadoras</b> .....	25
<b>2.6. Implantação de sistema <i>retrofiting</i> em máquina seccionadora</b> .....	27
<b>2.7. Software para programação CNC em máquina seccionadora</b> .....	29
<b>3. METODOLOGIA</b> .....	31
<b>3.1. Abordagem</b> .....	31
3.1.1. Técnica de conversão de seccionadora convencional em CNC .....	32
<b>3.2. Aplicativos Cad</b> .....	35
3.2.1. Projeto virtual (Recurso 3D).....	37
3.2.2. Aquisição dos dados de Projeto.....	42
<b>3.3. Critérios para ordenação das peças</b> .....	46
<b>3.4. Procedimentos do arranjo no método empírico</b> .....	48
<b>3.5. Geração do plano de corte</b> .....	49
3.5.1. Geração do Programa CN para método empírico .....	51
<b>3.6. Fluxograma do processo de identificação no método empírico</b> .....	53
<b>3.7. Algoritmo para corte da tira no método empírico</b> .....	55
<b>3.8. Geração do programa CN a partir do arranjo de corte</b> .....	62
<b>4. ANÁLISE DA TÉCNICA</b> .....	65
<b>4.1. Utilização do Aplicativo CAD no Projeto 1</b> .....	67
4.1.1 Geração do Programa CN no método empírico para Projeto 1.....	68
<b>4.2. Utilização do Aplicativo CAD no Projeto 2</b> .....	75
4.2.1 Geração do Programa CN no método empírico para Projeto 2 .....	77
<b>4.3. Aplicação dos Dados de Projeto no Software Optimik</b> .....	81
4.3.1 Utilização do Software Optimik no projeto 1.....	81
4.3.2 Utilização do software Optimik no projeto 2 .....	88
<b>5. CONCLUSÃO</b> .....	93
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	95
<b>ANEXO A – Estatística do plano de corte projeto 1 (cozinha)</b> .....	99
<b>ANEXO B – Estatística do plano de corte projeto 2 (quarto)</b> .....	100

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1 Programação automática de seccionadoras

Devido à velocidade tecnológica que vem ocorrendo nas indústrias nos últimos anos, as organizações buscam novas alternativas de controle para acompanhamento e monitoramento de seus processos internos de produção. Além disso, as grandes exigências de mercado e a alta concorrência imprimem novas perspectivas de qualidade em produtos e serviços através da utilização de recursos tecnológicos para ampliação da qualidade nos processos de produção e, conseqüentemente, aumento da competitividade, redução dos custos e ampliação da lucratividade.

Quando essa exigência é refletida na micro e pequena empresa, em especial no setor moveleiro, o desafio é o custo, que impede empreendedores de investir em seus processos internos, já que há um estreito capital de giro e também poucas alternativas no mercado para as micro e pequenas empresas quando se trata de possibilidades de investimento em curto prazo em recursos tecnológicos capazes de maximizar a capacidade produtiva e a lucratividade dessas empresas. Nesse contexto, o grande impasse que se apresenta à micro e pequena indústria do setor moveleiro está em como adquirir tecnologia capaz de garantir o sucesso da produção sem necessitar de um elevado investimento.

Na indústria moveleira, o processo produtivo das peças de cada móvel está relacionado aos problemas de corte, que pode ser em uma seccionadora convencional ou uma seccionadora CNC. As máquinas seccionadoras tanto convencionais como as CNCs, podem utilizar os planos de cortes provenientes de um *software* comercial.

Os *softwares* comerciais existentes servem para gerar planos de corte, servem tanto para máquina seccionadora convencional como para máquina CNC, a diferença está no recurso que a seccionadora CNC possui em rodar o programa CN gerado por esses *softwares*

Com isso, a seccionadora convencional, não consegue rodar automaticamente o plano de corte e exige do operador da máquina o manuseio dos dados referentes ao plano de corte, fazendo com que os comandos de corte sejam

processados manualmente, o que aumenta o percentual de erro de corte e, conseqüentemente, a perda de matéria-prima. Essa máquina convencional ainda é bastante usada nos processos de corte de matéria-prima de indústrias do setor moveleiro que se caracterizam como micro ou pequena empresa.

Em posição diferente, está a máquina seccionadora CNC, que tem uma programação CNC (Comando Numérico Computadorizado), havendo a grande vantagem da pouca intervenção humana constatada na interface de informações da modelagem digital, provinda de um sistema CAD/CAM, que suporta muito bem a transferência de um modelo de um produto para a máquina, além de propiciar a substituição do meio de transmissão via papel e verbal para o eletrônico.

A tecnologia embarcada em uma seccionadora CNC é bem superior que a seccionadora convencional, porém, em conseqüência do maior número de recursos existentes nela, exige dessas seccionadoras CNC um maior custo de aquisição da máquina, inviabilizando em muitas vezes a compra desse equipamento para o micro e pequena empresa do setor moveleiro.

Porém, existe uma alternativa para transformar uma máquina convencional em equipamento CNC, ou seja, ser uma máquina programável. Para isso, são necessários a instalação de acessórios capazes de equipar a uma CNC. Esses acessórios são guias lineares, atuadores, servo-motores e sistemas de posicionamento no carro principal. A adaptação desses equipamentos pode ser considerada com um *retrofitting*, mas esta alternativa nunca substituirá uma máquina CNC, é apenas uma possibilidade de automação da mesma.

Se essa alternativa for feita, uma opção é o desenvolvimento de um *software* específico como os sistemas CAD/CAM que possa interagir entre o desenvolvimento de um produto e sua fabricação, gerando planos de corte e também a programação CNC para máquina convencional adaptada, situação essa que não é muito comum.

Outra situação encontrada em nas micro e pequenas empresas, é a possibilidade em ter um *software* específico para gerar os planos de cortes para máquinas seccionadoras tanto convencional ou CNC. Para aquisição desses *softwares*, os micro e pequenos empresários necessitam investir na aquisição de suas licenças, mas existe uma possibilidade capaz de gerar planos corte para seccionadoras através de aplicativos CAD.

Considerando isso, torna-se necessário encontrar um mecanismo para geração de planos de corte através de aplicativos CAD, que possa suprir a

necessidade tecnológica da micro e pequena e empresas como uma opção válida para contornar tais dificuldades impostas pelo contexto competitivo em que se insere a indústria moveleira. No entanto, máquinas convencionais precisam ser adaptadas para receber o aplicativo CAD/CAM (*Computed Aided Design e Computed Aided Manufacturing* - Projeto e Manufatura Auxiliados por Computador).

O uso de aplicativos CAD, nesse sentido, pode ser útil no desenvolvimento de soluções para os microempresários que possuem máquina seccionadora convencional com dois eixos de movimentação não programáveis, as quais não dispõem de um sistema que possa gerar os Planos de Corte e conseqüentemente a programação de corte para a máquina é feita de forma manual.

## **1. 2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo Geral**

O objetivo geral do estudo é analisar a viabilidade de conversão de máquinas seccionadoras convencionais em equipamentos CNC. A técnica considera a implementação de um *retrofitting* em máquina seccionadora convencional e propõe uma metodologia de programação automática do equipamento adaptando-a para programação CNC.

Diante dessas prerrogativas, este trabalho estuda uma metodologia para conversão de máquinas seccionadoras convencionais com dois eixos de movimentação em equipamentos CNC. Na sequência, a máquina adaptada possa receber os dados obtidos por sistemas de geração de planos de corte oriundos de aplicativos CAD. Nesse cenário de investigação, é relevante destacar que: a) as máquinas seccionadoras CNC já dispõem de sistema/*software* para executar automaticamente os planos de corte; b) os sistemas CAD, no desenvolvimento de soluções no processo de fabricação do produto, podem contribuir para sanar a necessidade de bibliotecas geométricas de distribuição das peças em uma chapa, pois tais sistemas apresentam comandos práticos que facilitam o desenvolvimento de soluções para corte de peças; c) além disso, uma tecnologia CN, associada à modelagem digital propiciada pelos sistemas CAD/CAM, “suporta em grande parte a transferência do modelo de um produto para a máquina com pouca intervenção

humana, além de propiciar a substituição do meio de transmissão, papel ou verbal, para o eletrônico” (COSTA; PEREIRA, 2006, p. 2); d) as máquinas seccionadoras convencionais, para receberem a programação CNC devem ser adaptadas através de um processo de *retrofitting*, o qual se desenvolve com a inclusão de equipamentos para movimentação dos dois eixos da máquina.

Nesse sentido, o processo de corte pode ser realizado com a utilização de programação automática em máquina seccionadora com movimentação de dois eixos através da geração de planos de corte de modelos matemáticos pré-definidos. Nesse contexto, é fundamental criar uma metodologia para conversão de máquinas seccionadoras convencionais adaptadas, nas quais a interpretação geométrica de peças que devem ser cortadas e geometricamente distribuídas é facilitada se a máquina possuir uma linguagem programacional que faça a distribuição geométrica. Essa conversão da máquina seccionadora convencional pode ser feita através de um mecanismo que adapte a máquina, equiparando-a a um equipamento CNC.

Assim, este estudo mostra como implementar um método empírico para gerar automaticamente os programas CNC para a máquina adaptada a partir de dados provenientes de sistemas de geração de planos de corte. A proposta consiste na apresentação de uma metodologia para conversão de máquina seccionadora convencional, não sendo, portanto, objeto de estudo a aplicação dessa metodologia e a construção de algum aplicativo que possa estabelecer a automatização do equipamento. O trabalho mostra como implementar essa técnica através de aplicativos CAD e considera duas possibilidades de obtenção dos dados do Plano de Corte. No primeiro caso, a sequência de corte, definida em programas computacionais especializados, é convertida em um desenho do CAD, que posteriormente é processado para a geração do programa CNC para a máquina. Nesse caso, todo o projeto de móvel feito no CAD deve ter todas as informações e os detalhamentos necessários para a sua fabricação sem necessitar de uma interpretação ou tempo adicional por parte do operador para transferir as informações para a máquina seccionadora.

A outra alternativa é considerar a possibilidade de implementação de técnicas dedicadas à definição do arranjo do corte, através de rotinas do CAD. Nesse caso, um método empírico é proposto com o objetivo de demonstrar a técnica, que parte do princípio de que o projeto do móvel esteja virtualmente definido no CAD através de recursos 3D de desenho. Esse aplicativo CAD

possibilita o cálculo geométrico das peças e ordena uma lista chamada Dados de Projeto. Essa ordenação é feita pelo critério da maior largura da peça de acordo com a sua distribuição geométrica na chapa (DAL PIVA, 2006).

A realização deste trabalho toma como referencial teórico obras e textos de autores que tratam em especial de sistemas CAD/CAM, como Costa e Pereira (2006), Simões (1999), entre outros. Além disso, são referidos estudos de autores que abordam os problemas de corte e empacotamento (PCE), dando ênfase a cortes unidimensionais e bi-dimensionais, como os trabalhos de Dickhoff (1990) e Mosquera (2007). Autores como Rangel e Figueiredo (2008) são referenciados para explicar que o objetivo da indústria é encontrar um arranjo de corte capaz de transformar um objeto grande em múltiplos itens, o que sinaliza a necessidade de se propor uma metodologia de corte que maximize o resultado da produção de peça em máquina seccionadora, tal como ocorre na indústria de móveis, que se preocupa em ter um bom aproveitamento da matéria-prima e um uso eficiente de máquina seccionadora.

### **1.2.2. Objetivos Específicos**

Mostrar como a técnica pode ser implementada através de ferramentas CAD para desenvolvimento de aplicativos.

Indicar procedimento de desenho do projeto do produto em sistemas CAD através da utilização de recursos 3D, para direcionar a interpretação de dados geométricos;

Analisar a viabilidade de gerar os dados de entrada para sistemas computacionais para geração de planos de corte e utilizar os dados de saída desses sistemas para geração automática de programas CNC;

Analisar a possibilidade de implementação no sistema de um módulo para geração do plano de corte, utilizando um método empírico para definir a distribuição geométrica de peças do projeto;

Apontar, com base em dados simulados de projetos, obtidos através do uso de recursos CAD para geração de programação para máquina seccionadora CNC, os possíveis resultados a serem obtidos com a adoção da técnica proposta a fim de discutir a eficácia desse método para corte de matéria-prima no setor industrial moveleiro.

## **2. REVISÃO DA LITERATURA**

### **2.1. Cenário da Indústria Moveleira**

A indústria de móveis, a partir dos anos 80 do século XX, de acordo com Coelho e Berger (2004), passou por transformações, que incluíram o uso de equipamentos automatizados, os quais possibilitaram o aumento na produtividade, o emprego de novas técnicas de gestão e de novas matérias-primas. Essas alterações no cenário do setor provocaram a transformação do mercado de móveis num “mercado de massas”, a padronização e a qualidade dos produtos e ainda um crescimento no mercado mundial de móveis (COELHO; BERGER, 2004).

O Brasil, nesse cenário, tem aumentado as exportações, e a indústria brasileira desse setor caracteriza-se por ser “extremamente fragmentada, intensiva em mão-de-obra, com pouca participação no valor agregado e verticalizada”, diferenciando-se das indústrias de outros países pela verticalização, já que nos outros lugares, essa indústria é horizontalizada (COELHO; BERGER, 2004, p. 2). As indústrias do setor moveleiro no país, segundo Rangel e Figueiredo (2008), encontram-se em várias regiões do país, dividem-se em micro, pequenas e grandes empresas, e têm no Brasil um processo de produção bastante diversificado no sentido de que algumas empresas são altamente automatizadas, enquanto outras operam de forma totalmente manual, “sendo comum se encontrar equipamentos modernos e obsoletos sendo usados simultaneamente em uma mesma empresa” (2008, p. 2). Além disso, ainda de acordo com Rangel e Figueiredo (2008), esse setor industrial se serve de vários tipos de matéria-prima, como madeira, couro, plástico e metal e um considerável esforço tem sido desenvolvido para aumentar o volume de exportações.

Atualmente no Brasil, existem aproximadamente 16 mil empresas do setor moveleiro, segundo a Associação Brasileira das Indústrias do Mobiliário (ABIMÓVEL), as quais empregam em torno de 200 mil colaboradores. Dessas indústrias, 83% encontram-se nas regiões Sul e Sudeste, gerando aproximadamente 80% dos empregos desse segmento.

No Rio Grande do Sul, conforme dados apresentados por Brand, Gerhardt e Kliemann Neto (2004), as indústrias moveleiras iniciaram produção em larga escala nos anos 1950, tendo desde então um desenvolvimento expressivo. Atualmente, o



Estado é o segundo colocado em nível nacional em exportação de móveis, e as empresas se concentram especialmente na região de “Bento Gonçalves e arredores, Lagoa Vermelha e arredores, Restinga Seca e a região das Hortênsias” (2004, p. 2). Em outras regiões do país, algumas cidades concentram as indústrias de móveis: em São Paulo, por exemplo, os municípios de Mirassol e Votuporanga possuem complexos moveleiros com diferentes estruturas e linhas de produção.

Segundo Mosquera (2007), o setor da indústria moveleira está bastante disperso em todo o território nacional, conforme o autor ilustra na Tabela 1, porém há aglomeração de empresas em polos moveleiros regionais.

Tabela 1 – Polos Moveleiros no Brasil

<b>ESTADOS</b>	<b>CIDADES</b>
<b>Amazonas</b>	Manaus
<b>Bahia</b>	Salvador
<b>Ceará</b>	Fortaleza
<b>Espírito Santo</b>	Colatina, Linhares e Vitória
<b>Maranhão</b>	Imperatriz
<b>Minas Gerais</b>	Bom Despacho, Carmo do Cajuru, Martinho Campos, Ubá, Uberaba e Uberlândia
<b>Paraná</b>	Arapongas, Cascavel, Curitiba, Francisco Beltrão e Londrina
<b>Pernambuco</b>	Recife
<b>Rio Grande do Sul</b>	Bento, Canela, Caxias do Sul, Erechim, Gramado, Lagoa Vermelha, Passo Fundo, Restinga Seca e Santa Maria
<b>Santa Catarina</b>	Chapecó, Coronel Freitas, Otacílio Costa, Pinhalzinho, Rio Negrinho, São Bento do Sul e São Lourenço do Oeste
<b>São Paulo</b>	Bálsamo, Itatiba, Jaci, Mirassol, Neves Paulista, São Bernardo do Campo, Votuporanga.

Fonte: Mosquera (2007)

Neste cenário industrial moveleiro, Mosquera (2007) destaca que, no Brasil, as micro e pequenas empresas (MPE) representam 96% desse segmento.

Mosquera também cita que a classificação das empresas no Brasil e no mundo leva em consideração critérios quantitativos, como o número de empregados e o faturamento anual bruto. Conforme o mesmo autor, a classificação quantitativa das empresas segue a orientação de que a microempresa possui até 19 empregados; a pequena empresa, de 20 a 99; a média empresa, de 100 a 500, e, por fim, a grande empresa com mais de 500 empregados.

Em relação ao corte de matéria-prima, a indústria de móveis, em sua grande maioria, como destacam Rangel e Figueiredo (2008), preocupa-se em ter um bom aproveitamento da matéria-prima e volta-se para um uso eficiente de máquina seccionadora, o que implica interesse na definição de padrões de corte que otimizem a utilização especialmente de painéis de madeira e eliminem perda de objetos. Para os autores, devido ao alto custo da matéria-prima, como painéis de MDF, a busca pela minimização da perda do objeto é o principal critério usado “na avaliação da qualidade de um padrão de corte.” (RANGEL; FIGUEIREDO, 2008, p. 5). Segundo Mosquera (2007), a indústria de móveis tem alto índice de desperdício de matéria-prima, entre 30 e 40%, e as razões para isso relacionam-se à imprecisão do processo de corte e ao grande tamanho das peças comparativamente ao tamanho das placas.

A maioria das indústrias de mobiliário em madeira tem o seu planejamento dos arranjos de corte realizado de forma totalmente manual pelo próprio operador da máquina de corte, e ainda há um veio na madeira que limita as possibilidades de combinações e a rotações das peças. Ao se estudar, então, as combinações para corte de peças, é preciso considerar a classificação dos problemas de corte.

## **2.2. Classificação dos problemas de corte**

Os Problemas de Corte e Empacotamento (PCE) são problemas de ordem combinatória geométrica, a qual deve encontrar disponibilidade de área para um arranjo ótimo de distribuição das peças em uma chapa de madeira. Ao se montar um plano de corte, é preciso considerar as dimensões das peças. Com relação à dimensão, Dyckhoff (1990) identifica as seguintes classificações de corte: unidimensional, bidimensional, tridimensional e multidimensional.

O corte unidimensional ocorre quando um objeto, como uma bobina ou uma barra, é cortado ao longo do seu comprimento para a obtenção ou produção de itens de comprimentos menores e de tamanhos pré-definidos. Como refere Mosquera (2007), nesse tipo de corte, “Cada item tem um ‘valor de utilidade’ associado” (2007, p. 5). Se um item não tiver seu tamanho especificado, será considerado perda e terá um valor nulo, conforme representa a figura 1, que ilustra o corte unidimensional.



Figura 1 – Ilustração de corte unidimensional  
Fonte: Mosquera (2007)

Nas palavras de Mosquera, o corte unidimensional é um problema de “otimização combinatória, que busca obter os itens de tamanhos especificados a partir do corte de objetos em estoque de tal forma que se obtenha o maior valor de utilidade total, dado pela soma dos valores de utilidade dos itens produzidos” (2007, p. 5). No entanto, como alerta Ghidini (2008), algumas restrições podem aparecer nesse tipo de corte, como o número de facas e a compartimentação de itens.

O corte bidimensional, assim como o unidimensional, é usado para obter um conjunto de itens menores a partir de um objeto, e esses itens podem ter dimensões diversas e devem ser pré-definidas assim como o objeto maior a ser cortado deve ter também dimensões determinadas.

No corte bidimensional, conforme ilustra a figura 2, são considerados o comprimento e a largura dos objetos. O corte de painéis de madeira e vidro, por exemplo, é feito através do corte bidimensional, e esse tipo de corte é usado com frequência na indústria de móveis e metalúrgica. Uma mesma placa de matéria-prima pode dar origem a várias peças, com tamanhos diferentes.

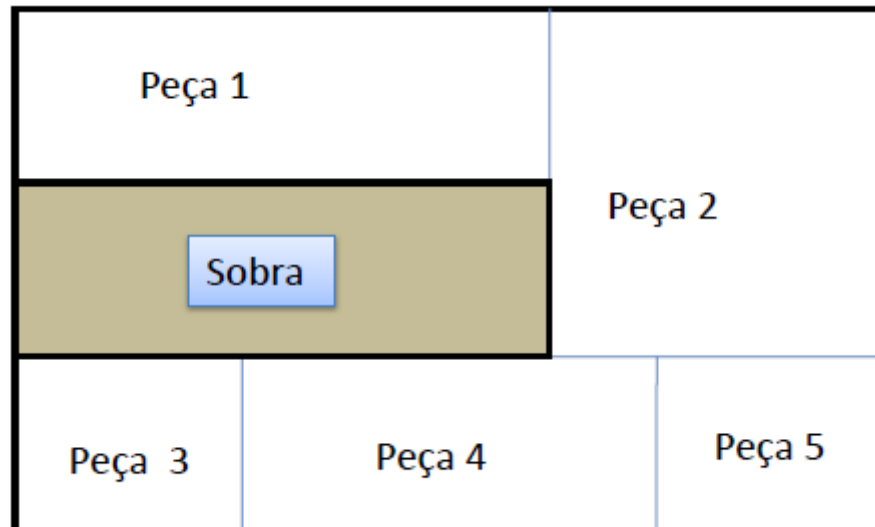


Figura 2 – Corte bidimensional

O corte bidimensional, na perspectiva de Ghidini (2008), oferece restrições, como a limitação do número de itens, o número máximo de tipos de itens e o número máximo de estágios.

O corte tridimensional, conforme ilustra a figura 3, ocorre quando a largura, o comprimento e a altura são levados em conta no processo de corte. De acordo com o que afirma Mosquera(2007), “o empacotamento de itens menores num espaço maior tem maior aplicabilidade na prática do que o corte de objetos grandes em itens menores, e tratam, basicamente, da alocação de itens especiais dentro de objetos maiores, buscando minimizar, por exemplo, os espaços ociosos dentro do objeto maior” (2007, p. 6). Esse tipo de corte é usado em indústrias de colchões e travesseiros, por exemplo.

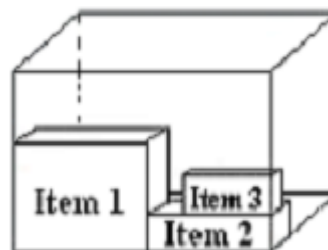


Figura 3 – Corte tridimensional  
Fonte: Mosquera (2007)

Os problemas de corte que possuem uma das dimensões variáveis são denominados de corte  $n$ -dimensionais. E há ainda o corte multidimensional que se

relaciona ao problema de alocação de tarefas, que, por sua vez, está ligado à dimensão não-espacial definida por Dyckhoff (1990). Na análise de Mosquera (2007), esses problemas de dimensões não-espaciais “podem ser considerados abstratos, pois as dimensões levadas em consideração não são dimensões físicas ou palpáveis” (p. 7). Para exemplificar esse tipo de problema Mosquera (2007) cita o problema do carregamento de veículos e a programação das rotas de veículos e navios, entre outros.

### 2.3. Sistemas CAD/CAM

De acordo com Meneghello (2003), a sofisticação de computadores e tecnologias faz com que dados do produto a ser fabricado sejam inseridos em um sistema CAD/CAM<sup>1</sup>, usado para automatizar o processo de produção em uma fábrica, interligando diversos níveis da indústria. Nesse processo, segundo o autor, inclui-se a geração de programas numéricos para máquinas CNC, planejamento de processo e controle da produção.

Nesse processo de fabricação de um móvel, o *software* CAD configura-se como uma ferramenta gráfica de desenho que projetistas técnicos e engenheiros utilizam, nos mais diversos segmentos da indústria para projetar produtos. Dentre esses setores em que o *software* CAD é bastante empregado, estão os da construção civil, indústria de máquinas e equipamentos, prestadores de serviço na área de engenharia, como serviços de usinagem, fundição, forjamento e indústrias do segmento de estruturas metálicas. O *software* ainda é útil para atender a necessidades específicas de montagem e descrição de material e seus fins.

Também há algum tempo, os sistemas CAD não são novidades para nenhum segmento, tendo em vista que a cada ano vão se aprimorando através de novos aplicativos nos quais agilizam o desenvolvimento para modelação de novos produtos.

Depois de o produto ser modelado, é momento de se fazer a escolha do processo de fabricação, identificar a máquina adequada a esse processo, informar a

---

<sup>1</sup> Sistema CAD/CAM é a expressão que sinaliza o *Computed Aided Design (CAD)/Computed Aided Manufacturing (CAM)*. Em português: Desenho auxiliado por computador (CAD) e Manufatura auxiliada por computador (CAM)

sequência de fabricação, apontar as ferramentas e condições de corte. Feito isso, o sistema calcula de forma automática a trajetória das ferramentas e as transfere na forma de um programa CNC para determinada máquina-ferramenta (COSTA; PEREIRA, 2006). A utilização dos sistemas CAD/CAM, na visão de Costa e Pereira (2006), traz as seguintes vantagens:

A tecnologia CN, associada à modelagem digital encontrada em sistemas CAD (Computer-Aided Design) e CAM (Computer-Aided Manufacturing), suporta em grande parte a transferência do modelo de um produto para a máquina com pouca intervenção humana, além de propiciar a substituição do meio de transmissão, papel ou verbal, para o eletrônico. (2006, p. 2)

De acordo com Meneghello (2003), os recursos dos sistemas CAD ainda são benéficos porque “vão além da integração da manufatura” (p. 19) e proporcionam economia na definição da geometria no sentido de que o processo passa a ser desenvolvido durante o projeto, o que também diminui a probabilidade de erros através da simulação dos processos e flexibilização das máquinas por uma simples modificação na programação. Meneghello (2003) ressalta que, além desses benefícios, há outros no uso dos sistemas CAD, como o aumento da produtividade do projeto, já que ocorre uma redução *lead time* de execução; minimização de erros, pois as disponibilidades de ferramentas e informações técnicas tornam-se mais precisas; os cálculos de projetos são mais precisos, já que as bibliotecas matemáticas proporcionam rapidez e precisão nos cálculos; padronização nos procedimentos dos projetos e formação de base de dados que possibilita integração entre sistemas.

Os Sistemas CAD/CAM – Projeto e Manufatura Auxiliados por Computador – foram desenvolvidos inicialmente pelo Instituto Tecnológico de Massachusetts e usados nas grandes empresas dos setores aeroespacial e automobilístico, pois necessitavam de mão-de-obra qualificada para operar o *software/hardware*, o que demandava alto custo. No final dos anos 1990, os sistemas CAD/CAM foram desenvolvidos para aplicação em PC's (Windows NT), tornando-se menos dispendiosos em termos financeiros e mais acessíveis a um profissional não especializado (SOUZA; COELHO, 2003).

Segundo Souza e Coelho (2003), os sistemas CAD/CAM envolvem o uso de sistemas de computador para a “geração e manipulação de desenhos em duas e três dimensões” e possibilitam que sejam modelados produtos tridimensionais com

formas complexas, que seja realizada análise de forma geométrica para auxiliar a manufatura. Além disso, permite que seja feita “análise de interferências entre peças e conjuntos-montados” e ainda que sejam definidos “volume e centro de massa do produto, comunicação com outros softwares, através de interfaces padronizadas” (SOUZA; COELHO, 2003, p. 2). Por causa de todas essas funcionalidades, são bastante usados na indústria moderna.

Para usar os sistemas CAD/CAM, faz-se, de acordo com Cunha (2000), uma interpretação da geometria das peças através da leitura de arquivos gráficos de transferência de dados e a geração de programas CN. Para tanto, é necessária também a interatividade dos sistemas com o programador, pois esses sistemas fazem com que seja possível a seleção de parâmetros de operação, ferramentas e tipo de movimento em um banco de dados. Através da interpretação dos dados geométricos e das informações do banco de dados resultante dessa interatividade, o sistema está apto a calcular e definir estratégias de usinagem como trajetórias e parâmetros de operação. Todas essas informações ficam armazenadas em um arquivo de dados para posterior pós-processamento.

Um sistema CAD/CAM integrado define-se como um sistema em que a fabricação e o projeto são inter-relacionados por dados e informações armazenadas no processo de projeto e transmitidos de forma direta para os procedimentos de manufatura (SIMÕES, 1999). Nas palavras do autor Meneghello (2003), esses sistemas CAD/CAM “são métodos de programação auxiliada por computador executados por algoritmos computacionais onde os dados de entrada do sistema são arquivos de transferência de dados do projeto ou percurso de ferramenta” (p.19).

O desenvolvimento de produtos em sistemas CAD/CAM tem uma sequência convencional, marcada inicialmente pela modelagem geométrica do produto construída através do *software* CAD. A informação gerada nesse sistema CAD cria um modelo conceitual e pode posteriormente ser exportada e importada para um sistema CAM. Essa transposição de informações possibilita, por exemplo, gerar as trajetórias de usinagem, já que esses sistemas proporcionam a associação de dados em uma base única. Nessa base de dados, a informação do projeto é disseminada entre as diversas aplicações. Essa interligação das aplicações evita que haja perda de informações, o que é bastante comum nesse tipo de transferência (NAKAMURA *et al.*, 2003).

Para proceder à fabricação de um móvel, é necessário ter o projeto do produto, e, para isso, são feitos a geração e o detalhamento do modelo através de um *software* CAD. Depois de os modelos serem elaborados, um sistema CAM gera os programas CN (Comando Numérico) para serem executados em uma máquina CNC (Comando Numérico Computadorizado). Esta máquina, por sua vez, faz a produção dos cortes do móvel. Assim, constrói-se uma associação entre os sistemas CAD e CAM, o que assinala como as formas geométricas construídas com *software* CAD são ligadas a outros sistemas computacionais. A figura 4 ilustra esse processo de “diálogo” entre os sistemas CAD e CAM, tendo como exemplo a modelagem de um móvel.

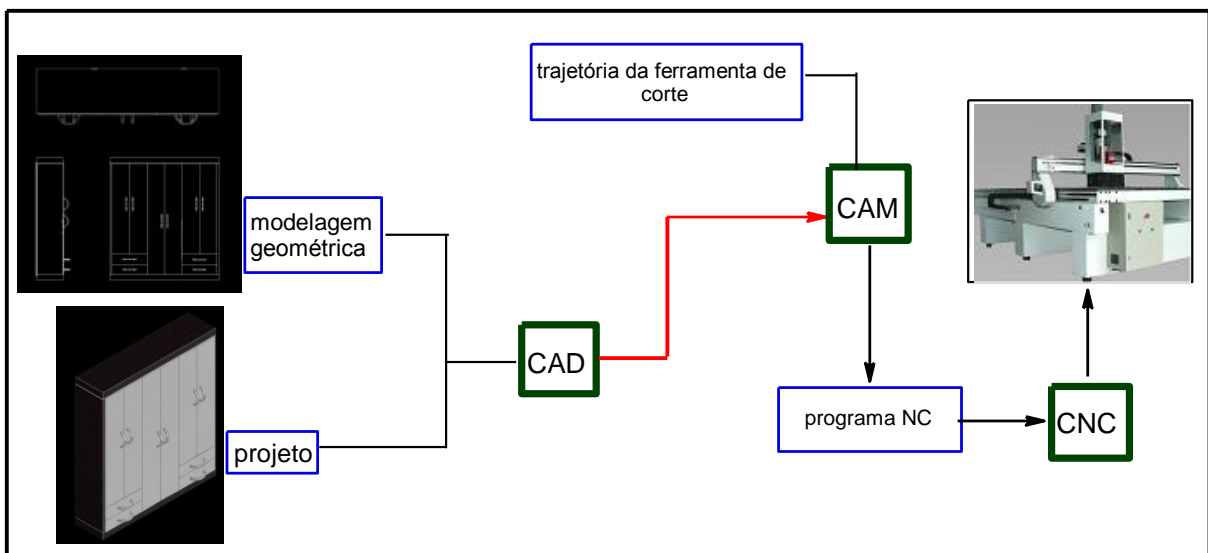


Figura 4 – Sistemas CAD/CAM operando de forma integrada

Fonte: Dal Bianco (2010)

Porém, uma dificuldade evidenciada na indústria moveleira é a falta de um projeto virtual com toda a realidade de dimensão do produto, ou seja, a inexistência de todas as informações dimensionais representadas no projeto fielmente em um modelo virtual. Isso ocorre muito com os programas que muitos Arquitetos possuem para desenvolver seus projetos, pois os mesmos não possuem detalhes de fabricação. Isso ocorre com o *software* Promob (PROMOB, 2011), no qual todo o projeto deve ser desenhado, para poder ser programado por um sistema CAD/CAM

Com isso, as indústrias que se servem dos sistemas CAD/CAM têm como vantagem processos de desenvolvimento e fabricação integrados. Nesse sentido, é preciso haver um “diálogo” entre máquina e projeto de corte através de *software*. O



*software* Tebis, por exemplo, serve para interpretar um projeto geométrico proveniente de um CAD e gerar programação CN, existindo assim uma conexão entre desenhos no sistema CAD e CAM (TEBIS, 2011). Dessa forma, a integração dos sistemas CAD/CAM pode ocorrer quando a máquina for automatizada.

Por essa linha de raciocínio proposta pelo sistema do *software* Tebis, essa integração dos sistemas CAD/CAM relaciona-se à automatização. Disso, depreende-se que uma máquina convencional precisa sofrer adaptação e ser automatizada para poder receber código CN através de aplicativos CAD propostos. Daí a necessidade de uma máquina convencional sofrer um *retrofitting* para ter condições de receber uma programação CN.

#### **2.4. Máquinas seccionadoras**

Hoje se pode dispor de fabricantes, nacionais e internacionais, de máquinas seccionadoras para a indústria dos mais diversos setores, dentre os quais o moveleiro. Dentre essas máquinas, podem-se encontrar aquelas que conseguem fazer a leitura do programa CNC através de *softwares* específicos para o planejamento do corte<sup>2</sup>, o que acarreta economia da matéria-prima, rapidez na programação e segurança na execução dos cortes. Os programas de corte servem também para máquinas seccionadoras convencionais, pois estes programas servem para calcular a melhor distribuição das peças na chapa.

As máquinas seccionadoras disponíveis no mercado apresentam diversos tamanhos, podendo atender às diversas necessidades da indústria. Além disso, essas máquinas possibilitam eleger a capacidade de corte de apenas uma ou várias chapas, dependendo da sua espessura. As dimensões das máquinas comportam um tamanho padrão de chapa (2750 x 1840mm) ou até chapas de tamanho especial. Essas máquinas, conforme explica Ruiz (2011), também são dotadas de um carro porta-serras ou dois.

O comando da máquina pode ocorrer através de botoeiras simples com funções liga/desliga, serra e riscador, levanta/abaixa, prensos ou máquinas com

---

<sup>2</sup> Dentre os *softwares* para planejamento de corte, podem ser citados o Corte Certo e o Optimik.

CLP (Comando Lógico-Programacional), que podem controlar empurradores que determinam a largura/comprimento das peças a serem cortadas. Ou, ainda, segundo destaca Ruiz (2011), as máquinas podem ser controladas por computador, as quais podem ser programadas para controlarem inúmeras funções.

O carregamento dessas máquinas pode ocorrer na dianteira, que é característica das máquinas menores, ou o carregamento pode ser traseiro, que é próprio das máquinas maiores. A figura 5 ilustra uma seccionadora CNC com carregamento traseiro.



Figura 5 – Carregamento traseiro das chapas (Gibben do Brasil – modelo SPT 90)

As máquinas seccionadoras CNC, por terem integradas a elas um *software* que executa automaticamente o plano de corte, são mais precisas e rápidas no corte da matéria-prima (RUIZ, 2011). As máquinas seccionadoras convencionais precisam da intervenção humana (do operador da máquina) para executar o plano de corte. No mercado industrial, há diversos modelos dessas máquinas seccionadoras.

Essas máquinas CNC são responsáveis também por processar os chamados Planos de Corte. Esses planos são informações de um projeto contendo todas as dimensões de corte das peças unitárias que compõem um projeto e ilustram a sequência de corte para uma determinada chapa.

## 2.5. Geração do plano de corte para máquinas seccionadoras

Existem diversas formas de realizar um planejamento do corte de chapas, as quais são relacionadas a seguir, segundo o *software* Audaces Planos de Corte Sob

Medida (2011), que é destinado a Planos de Corte, usado no setor moveleiro em máquinas seccionadoras:

1. Desenvolvimento do planejamento de corte de forma manual, ou seja, com as informações das dimensões das chapas e peças, é possível encaixá-las da melhor maneira, com o mínimo de desperdício; porém, as dificuldades são inúmeras, tais como demora na elaboração, recálculo quando ocorrem pequenas mudanças nas dimensões, devendo ser refeito tudo a cada lançamento de produto (o que tem ocorrido com grande frequência hoje);

2. Planejar os móveis de acordo com as dimensões das chapas disponíveis, o que se torna um desafio a mais para os projetistas, os quais devem criar sem perder de vista o melhor aproveitamento das chapas;

3. Usar um *software* para cadastrar chapas e peças, realizar o planejamento dos cortes e entregar para o setor produtivo impresso ou em meio eletrônico compatível com a máquina.

Essa última opção é a mais indicada para o processo de corte, mas, para isso, é necessário investimento em toda a estrutura produtiva de máquinas e com a necessidade de mão-de-obra. Além disso, necessita em adquirir algum *software* compatível para esses tipos de tarefas.

Para isso, o *software* Corte Certo é utilizado para otimização de planos de corte, e as diferentes séries do *software* “oferecem soluções para dividir uma ou mais chapas em peças, buscando o melhor aproveitamento do material com a maior agilidade possível” (CORTE CERTO, 2011). O *software* Optimik é usado para a geração automática de planos de corte para fabricantes de móveis e outros produtos feitos com chapas de madeira, metal, vidro, entre outros tipos de matéria-prima, cujos produtos sejam inúmeros ou em permanente mudança, como lançamentos, produtos sob medida, pedidos com vários produtos, entre outros (OPTIMIK, 2011). As vantagens principais desses *softwares* são gerar planos de corte com aproveitamento de área, reduzir os custos de produção e sobra de material, armazenar as sobras de corte e controlar o estoque de chapas.

Uma das características do *software* Optimik é que ele pode, de forma automática, manter e editar listas detalhadas de chapas e seus tamanhos individuais (OPTIMIK, 2011). Além disso, o Optimik pode “listar conjuntos (produtos) e inseri-los diretamente em tarefas, calculando custos para cada lote e conjunto” (OPTIMIK, 2011), o que torna o trabalho de produção de peça muito mais rápido,

preciso e produtivo. Assim, é possível gerar automaticamente os planos de corte para indústria moveleira e outros produtos feitos com chapas (madeira, metal, vidro, etc...).

Uma outra alternativa a ser destacada, é gerar os planos de corte propondo um “método artesanal” através de aplicativos CAD. Na geração de um plano de corte para um aplicativo CAD, é possível gerar os planos de corte através de duas formas, uma forma é uma técnica externa e outra é um método empírico implementado.

O plano de corte implementado, é o método artesanal proposto no trabalho, que utiliza critérios para a geração de arranjos muito simples, entre eles é identificar o sentido do veio e definir a maior largura da peça, não havendo neste caso nenhum tombamento da peça na chapa.

Já no plano externo, utilizam-se técnicas para geração de planos de corte como é o exemplo da técnica Heurística GRASP, implementado por Dal Bianco (2010). Porém essas técnicas levam tempo para serem processados pelos aplicativos CAD.

## **2.6. Implantação de um sistema *retrofiting* em máquinas seccionadoras**

Conforme explicam Moraes e Quelhas (2011), o *retrofiting*<sup>3</sup> foi utilizado inicialmente na indústria aeronáutica para atualizar as aeronaves e adaptá-las aos novos e modernos equipamentos disponíveis no mercado e, com o passar dos anos, começou a ser empregado em outros setores da indústria. Tendo surgido nos anos 1990 na Europa e nos Estados Unidos, o *retrofiting*, de acordo com as observações dos autores é, na concepção original, “qualquer tipo de reforma, a renovação completa de uma edificação, uma intervenção a um patrimônio” (2011, p. 7). É um recurso utilizado tanto na arquitetura quanto na engenharia para aprimorar, designar o processo de modernização de algum equipamento ou adaptá-lo a um processo atual no qual esse equipamento já é considerado ultrapassado ou fora de norma.

---

<sup>3</sup> Alguns autores utilizam o termo em inglês *retrofitting*, que significa voltar a adaptar, atualizar ou modernizar.

Na área de engenharia, o *retrofitting* ou reconversão de máquinas é uma tecnologia que permite obter, por baixo custo, melhores níveis de rendimento do processo produtivo. O *retrofitting* é muito utilizado por empresas para o aprimoramento de alguma máquina não obsoleta que acaba recebendo recursos tecnológicos que aumentam o seu desempenho produtivo diante do processo.

Segundo destaca Marcondes (2008), o *retrofitting* significa modernizar ou atualizar um equipamento e é equivocado associar o *retrofitting* a uma reforma no sentido de “reparar” ou “consertar” apesar de, em alguns contextos, ser aplicado uma reforma no mesmo período em que se aplica o *retrofitting* em uma máquina ou equipamento.

Ainda conforme o Marcondes (2008), o *retrofitting* vem sendo aplicado com mais intensidade no mercado brasileiro e mundial, sendo adotado principalmente para máquinas de grande porte ou para máquinas especiais. Isso se deve tanto aos prazos de entrega de uma máquina nova, que, em algumas situações pode durar mais de doze meses, quanto ao valor de um *retrofitting* comparado à aquisição de uma máquina ou equipamento novo. De acordo com Barbosa, Damasceno e Moreira (2009), o investimento na modernização de uma máquina depende do projeto e da tecnologia a ser usada no processo, mas seu custo final é inferior em termos de custo à compra de uma máquina nova: “Estima-se que esse valor pode ficar entre 10% e 30%, dependendo das condições atuais dos equipamentos e o que se deseja obter” (2009, p.2). Além disso, os autores destacam que, se o processo de *retrofitting* for bem executado, a vida útil e o desempenho da máquina são comparáveis ao de uma máquina nova da mesma categoria, havendo um custo menor.

Quando uma indústria possui uma máquina seccionadora convencional, esta máquina, para “dialogar”, por exemplo, com um *software* que otimiza o tempo e a precisão do corte da matéria-prima, precisa ser adaptada. Essa adaptação da máquina pode se dar através de um *retrofitting*.

Barbosa, Damasceno e Moreira (2009) destacam também que o procedimento do *retrofitting* pode ser adotado em seccionadoras. Nas palavras dos autores, “Para se fazer um *retrofitting* pode-se fazer uma reconversão de uma máquina convencional em uma máquina controlada por CNC (Comando numérico computadorizado) ou a atualização do sistema de controle de uma máquina antiga” (p. 2). Uma máquina convencional que recebe um *retrofitting* é, então, uma máquina adaptada.

O *retrofitting* em máquina seccionadora convencional, tem a finalidade de automatizar os movimentos de posicionamento da chapa para o corte. Nesse processo usam-se dispositivos, que são guias lineares usados para empurrar a chapa no eixo longitudinal y e para cortar a chapa no eixo x na máquina com o avanço da serra além de um servomotor ou motor de passo em cada eixo, um sensor fim de curso para posicionamento da serra, um sistema de transmissão para movimentação dos eixos e um quadro de comando.

Os servomotores são motores composta por uma parte fixa (o estator) e outra móvel. O estator é bobinado como no motor elétrico convencional, porém, apesar de utilizar alimentação trifásica, não pode ser ligado diretamente à rede, pois utiliza uma bobinagem especialmente confeccionada para proporcionar alta dinâmica ao sistema. Nos servomotor e motores de passo são exigidos, dinâmica, controle de rotação, torque constante e precisão de posicionamento.

Segundo as características técnicas do servomotor da marca Weg (2012), esse equipamento possui os seguintes traços: força contra-eletromotriz senoidal, rotação suave e uniforme em todas as velocidades; baixo nível de ruído e vibração, ampla faixa de rotação com torque constante, baixa manutenção (servomotores sem escovas), elevada capacidade de sobrecarga, baixa inércia, resposta dinâmica rápida. Além disso, as características mais desejadas nos servomotores são o torque constante em larga faixa de rotação (até 4.500 rpm), uma larga faixa de controle da rotação e variação (até 1:3000) e alta capacidade de sobrecarga.

Já o motor de passo possui um custo relativamente menor que um servomotor, mas possui a mesma utilidade que é a precisão de movimentos e variação de rotação. Sua alimentação pode ser trifásica ou monofásica e a sua alteração se dá pela corrente, diferente do servomotor que se dá pela frequência, por isso que o servomotor necessita de sensores e controladores, mas serve para elevado torque, situação essa que não tem necessidade.

## 2.7. Software para programação CNC em máquina seccionadora

O CNC (Comando Numérico Computadorizado) é, segundo Meneghello, um “sistema computacional de controle de máquinas-ferramenta incluindo um microcomputador dedicado operando através de instruções armazenadas em sua memória para executar algumas ou todas as funções básicas do CN” (MENEGHELLO, 2003, p. 12).

A programação CN é existente apenas em máquina seccionadora CNC e é proveniente de *softwares* especializados nessa área. Os fabricantes de seccionadoras CNC fornecem junto com a máquina um *software* para geração de programa CN. Há vários *softwares* disponíveis para essa tarefa. Dentre tantos existentes, destacam-se os *softwares* Corte Certo e Optimik.

## 3. METODOLOGIA

### 3.1. Abordagem

A definição de uma metodologia para que se possa fazer a conversão de uma máquina seccionadora em equipamento CNC envolve o uso de sistemas CAD/CAM. Os sistemas CAD/CAM são ferramentas de engenharia bem difundidas na indústria em geral. Nesse contexto, destaca-se o recurso CAD como facilitador de tarefas na elaboração de projetos.

No segmento moveleiro em especial, em alguns processos de fabricação interno, são utilizadas as máquinas seccionadoras. Algumas são CNC, que possuem programa CN e dois eixos de movimentação. Outras, as seccionadoras convencionais, não dispõem de CN e não possuem comando automático para o eixo de movimentação, que é o eixo da serra, o que impõe a necessidade de um *retrofitting* nesse tipo de máquina para adaptá-la. A máquina, sendo adaptada, pode assim receber um programa CN e se equiparar a um equipamento CNC.

Nesse contexto, uma facilidade encontrada pela indústria moveleira, em especial as micro e pequenas empresas, é instalar mecanismos (guias lineares, servo-motores, fuso de esfera) que possam automatizar uma máquina convencional. Para isso ser possível, é necessário que a seccionadora convencional possua pelo menos dois eixos de movimentação.

Mas, falta de um projeto virtual nos modelos das peças projetadas indica que a maioria das empresas moveleiras também não possuem ou não recebem os modelos de projetos com todas as informações de dimensão necessárias para fabricação de produtos. Na maioria das vezes, os *softwares* utilizados para fazer um projeto de algum móvel são *softwares* ilustrativos, sem informação de dimensão da peça que possa representá-la como exemplo, os pontos de fixação de uma dobradiça e os pontos de montagem de uma peça com todo o móvel.

Também com a falta de informações e detalhes dimensionais do projeto em sua sequência de fabricação, o projeto tem que ser todo revisado e deve ser refeito um roteiro de fabricação. Isso representa um gasto de tempo, posto que todo o projeto necessita dessa análise para poder montar a sequência de corte das peças na chapa.



Considerando isso, a metodologia deste trabalho propõe fazer a conversão de máquinas seccionadoras convencionais em equipamentos CNC. Na sequência é proposto um método empírico que consiste em gerar automaticamente os programas CN para a máquina adaptada a partir de dados provenientes de sistemas de geração de planos de corte. Para analisar a viabilidade da técnica, o estudo mostra como implementá-la através de aplicativos CAD. É importante frisar que, para que uma máquina convencional possa receber programa CN, esta máquina precisa sofrer um *retrofitting*, ou seja, uma adaptação.

Outra proposta da pesquisa consiste em transformar as informações dimensionais de desenvolvimento de um projeto em informações para a fabricação de peças quando utilizado um aplicativo CAD.

Esse aplicativo CAD possibilita o cálculo geométrico das peças e ordena uma lista chamada Dados de Projeto. Essa ordenação se faz pelo critério da maior largura da peça de acordo com a sua distribuição geométrica na chapa (DAL PIVA, 2006), critério abordado posteriormente.

### **3.1.1. Técnica de conversão de seccionadora convencional em CNC**

Como citado na seção anterior da revisão teórica, a técnica de transformar uma máquina seccionadora convencional em máquina CNC necessita de instalação de um motor de passo no eixo longitudinal y para empurrar a chapa, outro motor no eixo longitudinal x para movimento da serra, guias lineares, sistema de transmissão e fim de curso.

No caso de máquinas seccionadoras convencionais, pode ser viável a transformação numa CNC, pois principalmente as micro e pequenas empresas do setor moveleiro possuem esse tipo de máquina e, como esse tipo de máquina não dispõe de nenhum sistema ou mecanismo adaptado para gerar uma programação de forma automática para executar o plano de corte, o *retrofitting* pode ser aplicado para a máquina seccionadora. Isso, de acordo com a perspectiva de custos da modernização (ou adaptação) da máquina sinalizada por Barbosa, Damasceno e Moreira (2009), pode ser bastante viável economicamente para as micro e pequenas empresas do setor moveleiro.

Nesse sentido, cabe destacar a diferença, quando se trata de máquina seccionadora, entre “máquina convencional” e “máquina adaptada”. Esta é o equipamento que recebe um aprimoramento tecnológico (*retrofitting*) com vistas a melhorar o seu desempenho nos processos produtivos. Já a máquina seccionadora convencional é aquela que executa suas tarefas com restrições para realização dos processos de corte no sentido de que seus recursos tecnológicos mostram-se limitados.

Em outras palavras, a máquina seccionadora adaptada é um equipamento que passou por uma instalação de acessórios para se igualar a uma CNC. Com a utilização do *retrofitting*, é permitida, na máquina seccionadora adaptada, a automatização do posicionamento da chapa e a definição do fim de curso da serra, o que, em uma máquina seccionadora convencional, é feito de forma manual. Com isso, pode ser implementado um quadro de comandos com um sistema de interpretação de programação CNC. Através desse sistema, a própria máquina adaptada poderá receber uma programação CN de um *software* ou de um aplicativo CAD, interpretar os comandos e proceder ao corte das peças.

Os acessórios necessários para converter uma máquina convencional em CNC são:

- **Guias lineares:** Servem para movimentação retilínea do eixo Y, que posiciona o encosto na chapa e do eixo X, que posiciona o fim o sensor de fim de curso da serra;
- **Acionamento:** O acionamento serve essencial para executar os movimentos do encosto (eixo y) e movimentos do fim de curso (eixo x). Eles podem ser um servomotor ou um motor de passo. Neste caso, a melhor condição sugerida para automatizar os movimentos dos eixos é a instalação de um motor de passo, pois o mesmo possui facilidade de controle em malha aberta, já o servomotor necessita de um sensor para controlar a sua realimentação de sua frequência e o seu custo também é maior. Na adaptação de uma máquina convencional em CNC, o encosto fica na linha longitudinal do eixo Y, que serve para alinhar a chapa na máquina seccionadora, e o sensor de fim de curso para a serra na linha longitudinal do eixo X. O motor de passo deve ser implantado tanto no eixo Y quanto no eixo X.

- **Sistema de transmissão:** Os sistemas de transmissão servem para movimentar o eixo do motor de passo nos guias lineares. Podem ser utilizadas correias, cremalheiras ou fusos.

- **Comando:** O comando serve para controlar a máquina seccionadora e executar programas CN. *Softwares* comerciais permitem aplicar computadores PC como unidade de comando. Exemplo para isso é o Mach3 (ARTSOFT, 2012), que disponibiliza comunicação via USB ou porta paralela para controle dos eixos x e y.

O emprego do *retrofiting* é uma etapa necessária à conversão de uma máquina seccionadora convencional em equipamento CNC. A figura 6 ilustra um exemplo de uma máquina seccionadora adaptada com todos os acessórios instalados para conversão em equipamento CNC.

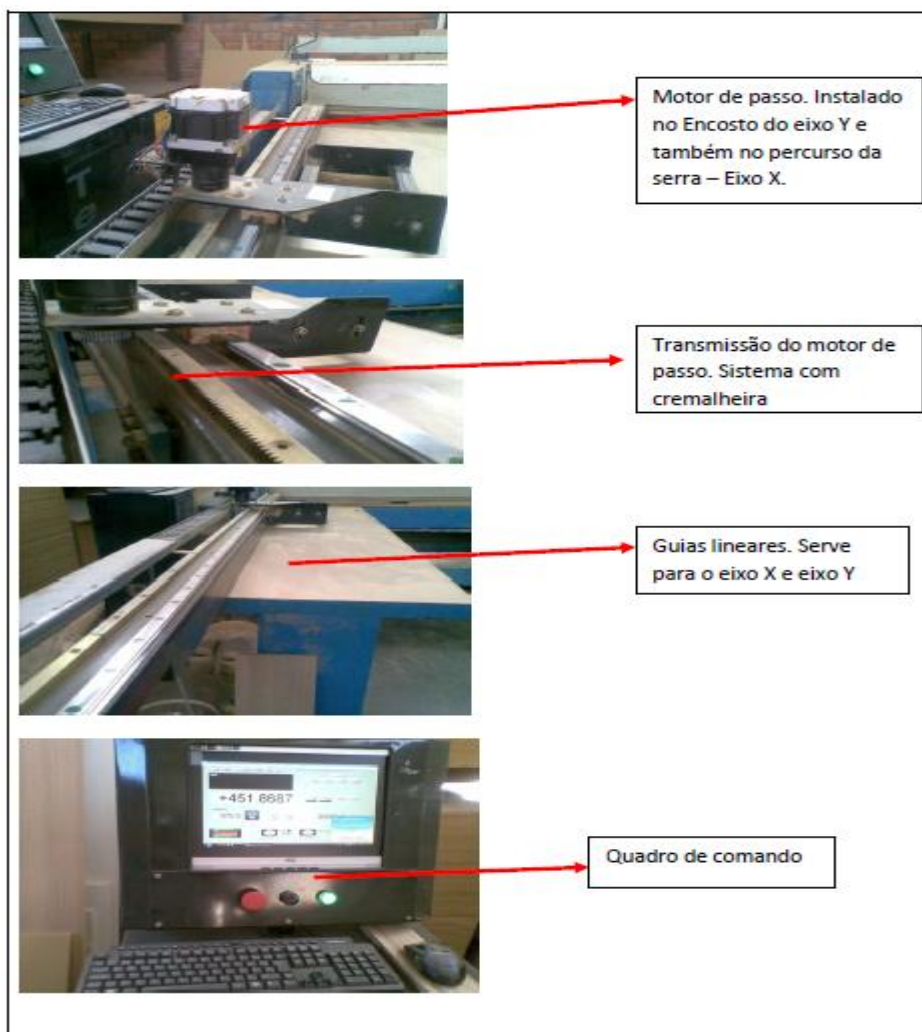


FIGURA 6 – Acessórios adaptados na seccionadora convencional.

(Cortesia: Móveis Back)

### 3.2. Aplicativos CAD

Aplicativos CAD<sup>4</sup> são recursos de um *software* de desenho que servem para automatizar algum procedimento na elaboração de algum projeto, ou seja, são programas que rodam dentro de um *software* de desenho. Esses programas são desenvolvidos por uma ferramenta, e essa ferramenta é a linguagem existente dentro de alguns programas CAD.

Com base na própria ferramenta CAD, a metodologia deste trabalho mostra como se pode usar um aplicativo do próprio CAD para gerar os programas CNs automaticamente. Baseado no projeto virtual de móvel, o estudo pode demonstrar que os aspectos de processos de fabricação para os operadores de máquinas seccionadoras convencionais são fundamentais, pois a produção recebe as peças ordenadas em um plano de projeto com a programação CN pronta para a máquina.

Para que os aplicativos CAD possam ser desenvolvidos por um compilador, utiliza-se uma linguagem chamada AutoLisp encontrada no *software* . Essa linguagem é responsável por gerar os aplicativos CAD para que os usuários automatizem os procedimentos do CAD.

No caso da proposta em estudo, os aplicativos CAD são utilizados para automatizar os projetos, ou seja, no momento em que um usuário estiver desenhando um móvel qualquer ou uma peça, o mesmo projeto também é um projeto virtual com todas as informações de dimensões (corte, ressalto, vão, furo...).

É importante salientar que apenas alguns *softwares* CAD possuem esses aplicativos. Mas, independente do *software*, esses aplicativos facilitam o processo de desenvolvimento de qualquer produto e também disponibilizam as informações para a manufatura, como roteiros para a fabricação de qualquer produto ou projeto desenvolvido.

Nesse contexto, cabe destacar que, apesar da importância dos aplicativos CAD para o desenvolvimento de projetos, muitos profissionais da área de Engenharia e Projetos desconhecem esses aplicativos CAD e sua utilidade como ferramenta de automatização de comandos, processos e desenvolvimento.-

Ao propor uma metodologia para aplicação de tecnologia CN em máquina seccionadora convencional, o foco principal do trabalho é demonstrar a utilização

---

<sup>4</sup> As informações sobre aplicativos CAD registradas neste trabalho tomam como referência o *software* AutoCad versão 2010 produzido pela Autodesk©.

dos aplicativos CAD para automatizar o projeto manual, usando ferramentas do CAD depois que máquina sofrer um *retrofitting*.

Através dos aplicativos CAD, é possível aumentar a produtividade para o processo de desenvolvimento de produto, porém nem sempre todos os profissionais da área de engenharia conhecem a sua aplicação e como ela é feita. O aplicativo proposto é útil, porque, como todas as informações necessárias são extraídas de um projeto, isso facilita o roteiro de fabricação, atendendo ao programa de corte e à geração do código CN.

Quando iniciado o procedimento de desenvolvimento de um projeto – tanto mecânico, como moveleiro -, são implementados os aplicativos CAD, que são a base de estudo deste trabalho. Esses sistemas CAD devem ser aplicados em acordo com o algoritmo proposto proveniente de aplicativos CAD.

Também é relevante destacar que a *software* CAD possui uma ferramenta chamada de *Layer*. Os *Layers* servem como modelo geométrico definido pelo desenhista na elaboração de um projeto qualquer para a identificação do tipo de cada peça projetada (porta, divisória, tampa, gaveta, etc.), serve como uma biblioteca de peças existentes para a elaboração de cada projeto.

Para a identificação de um projeto qualquer, os aplicativos CAD são utilizados para extrair características dimensionais de um sólido projetado nesse ambiente, como já citado. Também o aplicativo CAD é capaz de gerar o plano de corte através de um código texto, dando informações suficientes para o roteiro de fabricação. Essas informações se refere a distribuição geométrica de cada peça na chapa.

A lógica do aplicativo CAD é descrever as características que cada peça possui. Ele ainda assume uma importância ao calcular os parâmetros dimensionais que servem para o cálculo de aproveitamento de chapa, quando aplicado em máquinas seccionadoras. Com isso, a lógica CAD pode ser simulado em aplicações para máquinas seccionadoras, obedecendo às dimensões externas da chapa comprada comercialmente.

Na utilização do *software*, é possível modelar todas as peças que compõem um projeto qualquer. Para ilustrar a metodologia proposta nesta investigação, utilizam-se um projeto de cozinha e um de quarto, e também nessa modelação é possível extrair todas as informações dimensionais de cada peça.

### 3.2.1. Projeto Virtual (Recurso 3D)

Uma das principais ferramentas que são aplicadas para a modelação dos componentes ou peças de um determinado projeto é o chamado recurso 3D. Numa representação geométrica, o detalhamento de um projeto CAD se dá por informações em 2D (dois eixos cartesianos). Já no estudo proposto, existe a possibilidade de a peça ser modelada e detalhada em 3D – três eixos cartesianos – x, y e z.

O recurso 3D também facilita a visualização de qualquer peça em sua vista isométrica, como mostra a figura 7. Nesta ilustração, percebe-se o posicionamento da peça dentro de um projeto. Segue a ilustração da figura de um ambiente CAD na construção de um projeto utilizando os recursos 3D.

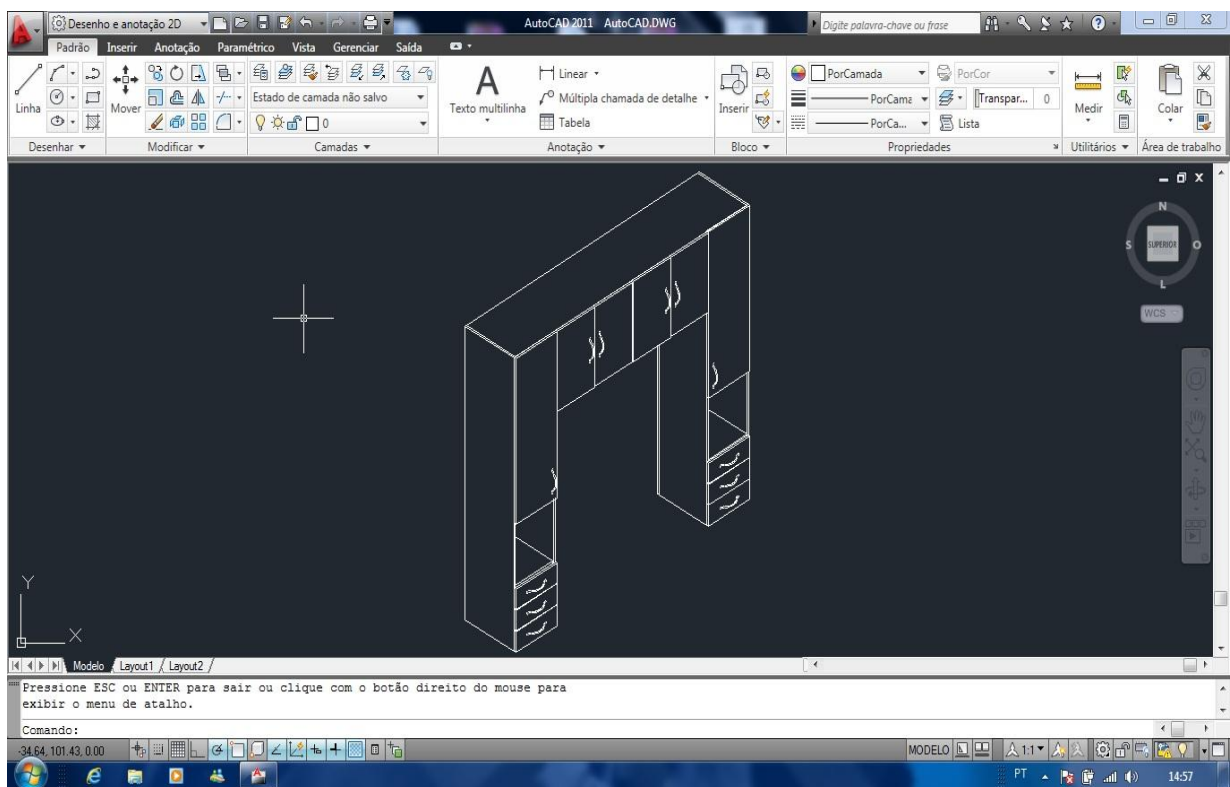


Figura 7 – Ambiente CAD na construção de um projeto

Conforme descrito anteriormente, a utilização dos *Layers* serve para identificar o tipo de cada peça projetada. Também essa ferramenta é essencial para catalogar cada peça de um projeto.

A figura 8 ilustra uma representação geométrica de um projeto, neste caso em 3D. Cada peça desenvolvida obedece a um posicionamento cartesiano em X, Y e Z. Este posicionamento aponta que as três dimensões (X, Y e Z) estão relacionadas às características dimensionais de comprimento, largura e espessura, respectivamente. Em muitos casos, porém, essas três dimensões poderão ser alteradas de acordo com o tipo de cada peça, e em cada dimensão pode representar uma diferente característica de dimensão, ou seja, em um projeto a dimensão X pode indicar o comprimento e em outro projeto pode sinalizar a largura ou a profundidade.

Essas características referem-se ao posicionamento geométrico de uma peça perante um plano cartesiano. Algumas peças possuem comprimento como X, outras a largura como Y e outras peças possuem a profundidade em Z. Isso depende do tipo de peça que é criada e, principalmente, da condição em obedecer ao sentido do “veio”, que é definido pelo comprimento da peça. O sentido do veio obedece ao posicionamento linear da fibra na madeira. Sua posição e sentido linear serão sempre o comprimento de qualquer peça e, por conseguinte, o eixo x.

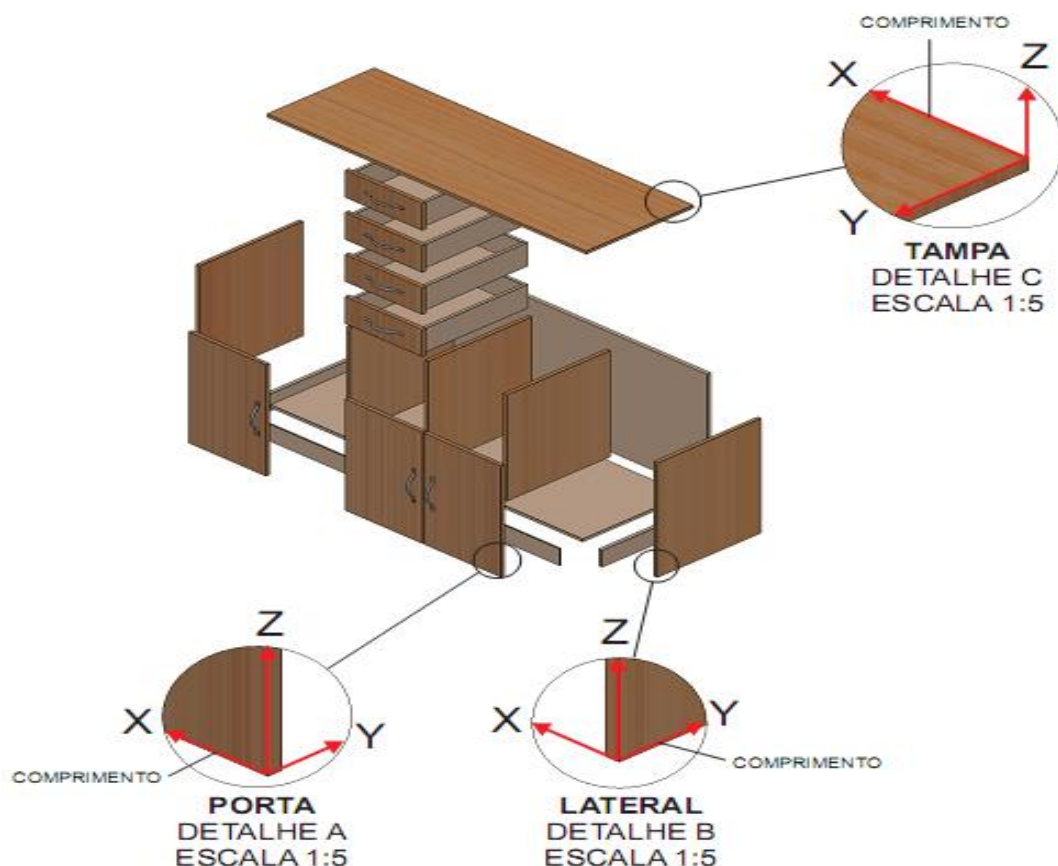


Figura 8 – Representação geométrica dos *Layers* e de uma peça 3D

Para a caracterização dos tipos de peças, foram criados oito componentes. Esses componentes servem tipicamente de base de projeto moveleiro. Os componentes fundo, base, porta, tira lateral, lateral, divisória, gaveta e tampa são descritos com o seu posicionamento geométrico, como ilustra o quadro 1.

Para a descrição de cada tipo de peça, é obedecido o critério de posicionamento geométrico, identificando as peças com o seu comprimento, largura e profundidade, por isso, com apenas duas dimensões, ou seja, o tipo de peça que será descrito nos dados de projeto é sempre comprimento ou largura, independente do plano cartesiano  $x$ ,  $y$  e  $z$ .

Nesse contexto, não necessariamente o aplicativo CAD vai considerar apenas comprimento e largura para identificação da coordenada, também o tipo de peça define o posicionamento em um plano geométrico, conforme ilustrado na figura 8. Portanto, independente da peça, a espessura não é considerada.

Para atender a essa situação, a figura 9 aponta que o algoritmo obedece às seguintes condições:

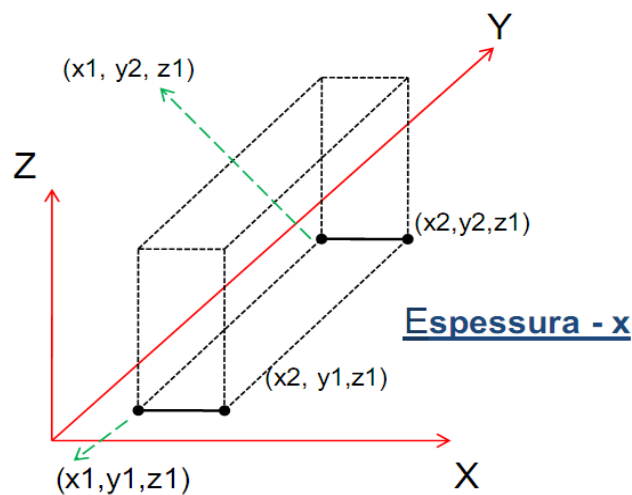


Figura 9 – Identificação da espessura

1. Pela menor reta, no exemplo da figura 8, a espessura encontrada foi no eixo  $X$ ; nesse caso, a variável  $X$  não será condicionada como base de cálculo para geração do plano de corte do programa CN, apenas as variáveis  $Z$  e  $Y$ ;



2. Qualquer reta com coordenadas dos pontos por  $(x_1, y_1, z_1)$  e  $(x_2, y_2, z_2)$  que for identificada na direção da espessura não será considerada na base de cálculo; nesse caso, as outras duas retas são levadas em conta.

E, para identificar a dimensão de cada reta, o aplicativo CAD obedece a três condições para identificação do menor valor de reta, a qual é identificada pela espessura.

- **Condição 1**

Assim, se a direção da espessura é Z, conforme a figura 10, então as dimensões são:

Se  $y_1 = y_2$ ; então, dimensão em  $x = x_2 - x_1$ , e:

Se  $x_1 = x_2$ ; Então, dimensão em  $y = y_2 - y_1$ ;

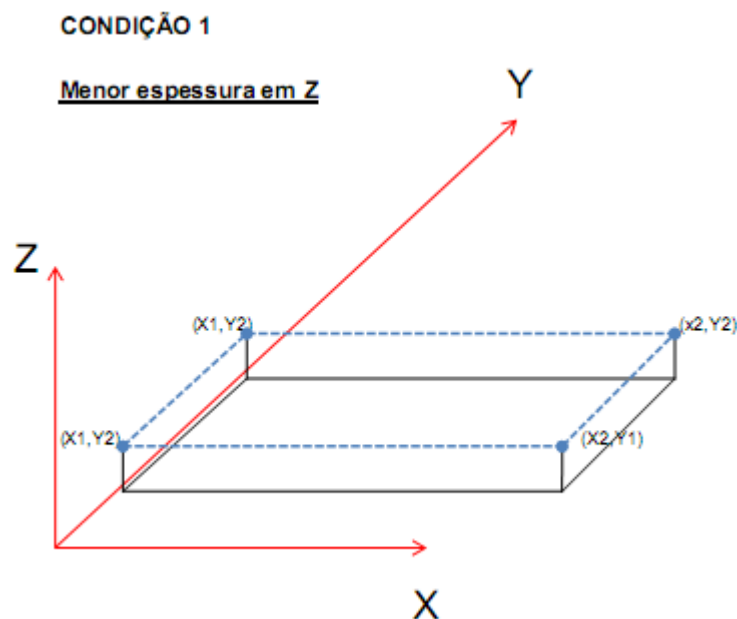


Figura 10 – Espessura em Z

- **Condição 2**

Se a direção da espessura é X, conforme a figura 11, então as dimensões são:

Se  $y_1 = y_2$ ; então, dimensão em  $z = z_2 - z_1$ , e:

Se  $z_1 = z_2$ ; Então, dimensão em  $y = y_2 - y_1$ ;

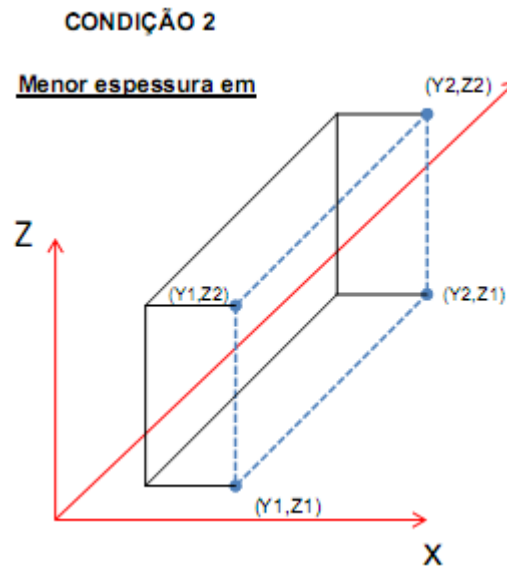


Figura 11 – Espessura em X

- **Condição 3**

Assim, se a direção da espessura é Y, conforme a figura 12, então as dimensões são:

Se  $x_1 = x_2$ ; então, dimensão em  $z = z_2 - z_1$ , e:

Se  $z_1 = z_2$ ; Então, dimensão em  $x = x_2 - x_1$ ;

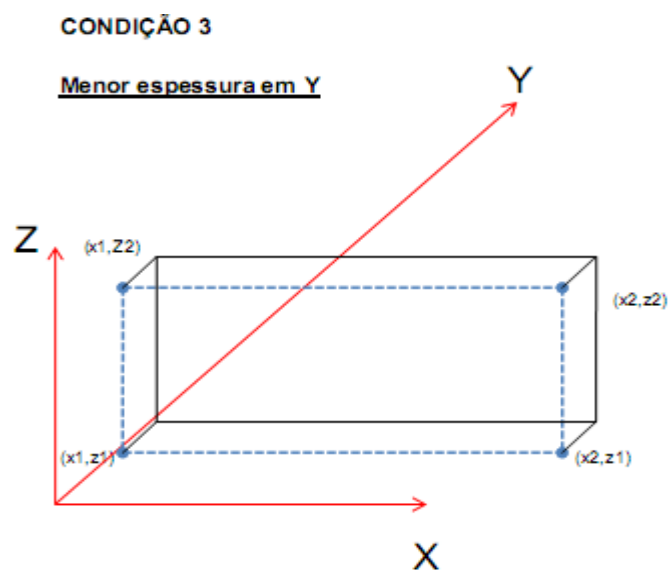


Figura 12 – Espessura em Y

Segue, no quadro 1, a descrição do tipo de peça e espessura referente a um plano cartesiano e, respectivamente, a identificação da menor espessura, com a identificação da dimensão relacionada e também com a identificação da coordenada em que se encontra a espessura.

<b>Identificação das dimensões</b>	Comprimento: eixo x Largura: eixo z Espessura: eixo y	Comprimento: eixo y Largura: eixo x Espessura: eixo z	Comprimento: eixo z Largura: eixo x Espessura: eixo y	Comprimento: eixo z Largura: eixo y Espessura: eixo x
	Então: Se $x_1 = x_2$ ; então, dimensão em z= Largura= $z_2 - z_1$ , ou: Se $z_1 = z_2$ ; Então, dimensão em x= $x_2 - x_1$ ;	Portanto: Se $y_1 = y_2$ ; então, dimensão em x= Largura= $x_2 - x_1$ , ou: Se $x_1 = x_2$ ; Então, dimensão em y= $y_2 - y_1$ ;	Portanto: Se $x_1 = x_2$ ; então, dimensão em z= $z_2 - z_1$ , ou: Se $z_1 = z_2$ ; Então, dimensão em x= $x_2 - x_1$ ;	Portanto: Se $y_1 = y_2$ ; então, dimensão em z= $z_2 - z_1$ , ou: Se $z_1 = z_2$ ; Então, dimensão em y= $y_2 - y_1$
<b>Tipo de Peça</b>	<b>Fundo</b>	<b>Base</b>	<b>Porta</b>	<b>Tira lateral</b>
<b>Identificação das dimensões</b>	Comprimento: eixo z Largura: eixo y Espessura: eixo x	Comprimento: eixo y Largura: eixo y Espessura: eixo z	Comprimento: eixo z Largura: eixo x Espessura: eixo y	Comprimento: eixo y Largura: eixo y Espessura: eixo z
	Portanto: Se $y_1 = y_2$ ; então, dimensão em z= $z_2 - z_1$ , ou: Se $z_1 = z_2$ ; Então, dimensão em y= $y_2 - y_1$ ;	Portanto: Se $y_1 = y_2$ ; então, dimensão em x= $x_2 - x_1$ , ou: Se $x_1 = x_2$ ; Então, dimensão em y= $y_2 - y_1$ ;	Portanto: Se $x_1 = x_2$ ; então, dimensão em z= $z_2 - z_1$ , ou: Se $z_1 = z_2$ ; Então, dimensão em x= $x_2 - x_1$ ;	Portanto: Se $y_1 = y_2$ ; então, dimensão em x= $x_2 - x_1$ , ou: Se $x_1 = x_2$ ; Então, dimensão em y= $y_2 - y_1$ ;
<b>Tipo de Peça</b>	<b>Lateral</b>	<b>Divisória</b>	<b>Gaveta</b>	<b>Tampa</b>

Quadro 1 – Descrição do tipo da peça e espessura

### 3.2.2. Aquisição dos dados de projeto

A elaboração de um projeto em um ambiente CAD desenvolve-se em forma de um sólido, ou seja, em 3D. Quando qualquer desenho for criado, buscam-se os tipos de peça e algum desenho já existente com as características similares em relação ao tipo de peça e assim se alteram as dimensões no próprio ambiente CAD, que deve ter um desenho de uma porta, por exemplo, e com base nele se faz outro desenho ou reedita uma dimensão desejada.

Na sequência, o que deve ser feito pelo aplicativo CAD é extrair informações dimensionais de uma peça em 3D. Mas, para adquirir informações dimensionais desse sólido, é necessário utilizar comandos que “explodam” esse sólido. Esses comandos fazem extrair as características dimensionais de qualquer desenho dentro do banco de dados do CAD. Esses bancos de dados são aspectos

dimensionais, como largura, comprimento e área, necessários para a aplicação da técnica numa peça qualquer.

A necessidade em explodir um sólido é chegar até aos elementos básicos de comprimento, largura e profundidade. Nesta explosão, a figura 13 ilustra as três etapas de identificação de sólido até chegar aos elementos básicos.

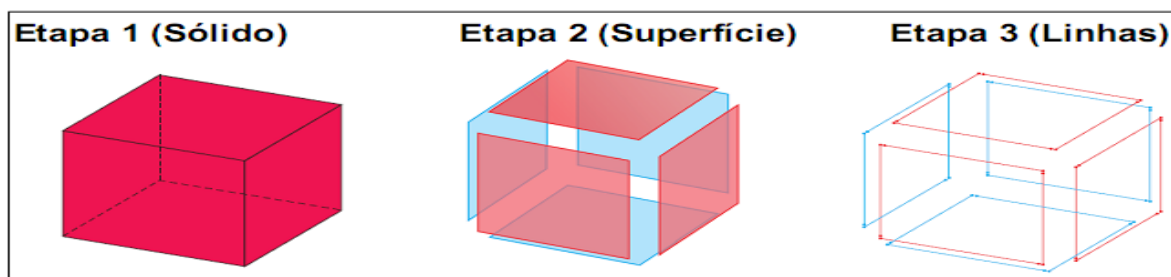


Figura 13 – Modelo de um sólido

A etapa 1 da figura 13 mostra um sólido qualquer para identificação de sua região. Na etapa 2, a figura ilustra as superfícies de um sólido explodido, que é o penúltimo caminho para chegar aos elementos básicos. Para chegar aos elementos básicos, a figura mostra a explosão final de um sólido que identifica os elementos necessários, ou seja, as linhas de um sólido, para que o aplicativo CAD possa fazer o cálculo necessário da identificação da reta.

Também o Quadro 2 mostra as características de identificação de cada peça aplicativo CAD, em que se ilustram os principais códigos e o seu significado.

<b>COD</b>	<b>Significado</b>	<b>Comentário</b>
-1	Nome do Arquivo	
0	Tipo	Identifica uma peça
8	Layer	Identifica qual o tipo de layer
10	Ponto inicial reta	Posição cartesiano inicial onde inicia a reta
11	Ponto final reta	Posição cartesiano final onde termina a reta

Quadro 2 - Banco de dados dos aplicativos CAD

Na figura 14, o código do aplicativo CAD trabalha com a identificação da característica de um sólido, ou seja, as informações necessárias em três dimensões.

```

((-1 . <Entity name: 4006fd58>)
 (0 . "3DSOLID") → Este código identifica o
 tipo de entidade
 (330 . <Entity name: 4006fcf8>)
 (5 . "2B")
 (100 . "AcDbEntity")
 (67 . 0)
 (410 . "Model")
 (8 . "Tipo de Layer")
 (100 . "AcDbModelerGeometry")
 (70 . 1)
 (1 . "koo gj n o ")
 .
 .
 .
 )

```

Figura 14 – Identificação do tipo da peça

Nesta figura, o aplicativo CAD, identifica qual é o *Layer* em que a peça se encontra (Fundo, base, porta, tira lateral, etc.). Também se pode fazer uma cópia dessa mesma peça, apenas identificando o tipo de peça, copiando e editando suas dimensões. Como os elementos são sólidos 3D, o que deve ser feito para tirar essas informações (x, y e z) é extrair informações da superfície da peça. Nesse caso, o aplicativo deve explodir a peça e gerar outras entidades.

A figura 15 ilustra outra entidade gerada pela explosão da peça. Esta figura se refere a aspectos de superfície da peça, ou seja, à sua "região". Quando se explode novamente, consegue identificar a sua superfície. Esta região são as faces da superfície de um sólido qualquer. Porém, deve-se explodir novamente a peça como ilustra a figura 15. Nessa "explosão" de entidade, será possível identificar as retas do sólido.

```

((-1 . <Entity name: 4006fd80>)
(0 . "REGION")
(330 . <Entity name: 4006fcf8>)
(5 . "30")
(100 . "AcDbEntity")
(67 . 0)
...
(1 . "/061+ {rn o go k |}")
)

```

Figura 15 – Identificação da Superfície ou região

A figura 15, após a explosão de uma face, surgem quatro linhas. Quando essa face for explodida, gera uma entidade chamada "LINE". Nessa entidade, identifica-se o ponto final e o ponto inicial dessa linha. Para isso, o comando varre todas as linhas existentes nessa face e assimila o conjunto de linhas (X,Y,Z) e calcula o seu comprimento, sua largura ou sua profundidade.

Na figura 16, entidade "Line" é identificada como uma reta e indica qual direção em que ela se encontra, para poder identificar as coordenadas de cada linha. Numa linha qualquer, existem três coordenadas (X,Y,Z). No ponto inicial dessa linha, os valores são (X1, Y1 e Z1) e no seu ponto final os valores são (X2, Y2 e Z2).

```

((-1 . <Entity name: 4006fda0>)
(0 . "LINE")
(330 . <Entity name: 4006fcf8>)
(5 . "34")
(100 . "AcDbEntity")
(67 . 0)
(410 . "Model")
(8 . "0")
(100 . "AcDbLine")
(10 100.0 80.0 4.0) —→ Ponto inicial
(11 0.0 80.0 4.0) —→ Ponto inicial
(210 0.0 1.0 0.0)
)

```

Figura 16 – Identificação da reta

Para apresentar um exemplo, contendo as três coordenadas, segue a figura 17, que ilustra as três etapas para identificar o posicionamento da peça

(comprimento, largura e profundidade), a coordenada de uma linha e por fim o seu dimensionamento.

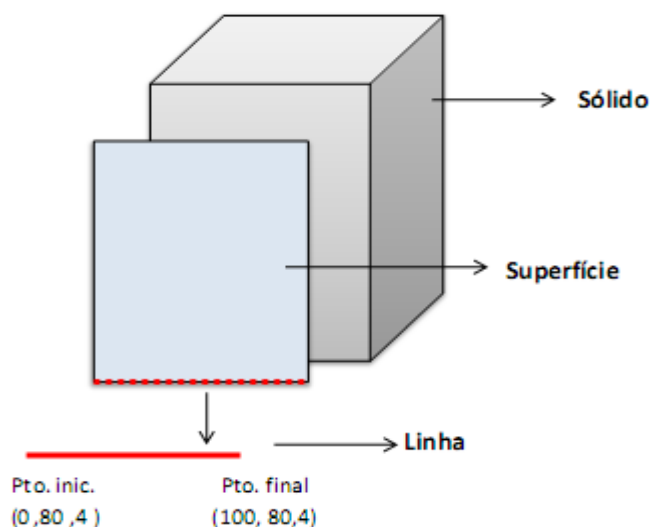


Figura 17 – Identificação da coordenada de uma linha

No caso do exemplo, percebe-se que a coordenada do Ponto Inicial é (0,80,4) e do Ponto Final é (100,80,4). Nota-se também que o único valor diferente é o x, portanto, quando o valor de uma reta for diferente, como é o caso do X, logo esse valor está na coordenada X e com valor dimensão de 100.

Após encontradas as condições dimensionais de cada peça, as próximas etapas são as definições do arranjo no método empírico e dos critérios para ordenação das peças e a geração do Plano de Corte e do programa CN.

### 3.3. Critérios para ordenação das peças

Os dados de projeto utilizam critérios de ordenação baseados nas características dimensionais da peça. Esses critérios privilegiam certas características das peças, tais como comprimento (C) e largura (l), como ilustrado na figura 18. Portanto, as peças são ordenadas de acordo com a sequência dessa característica desejada.

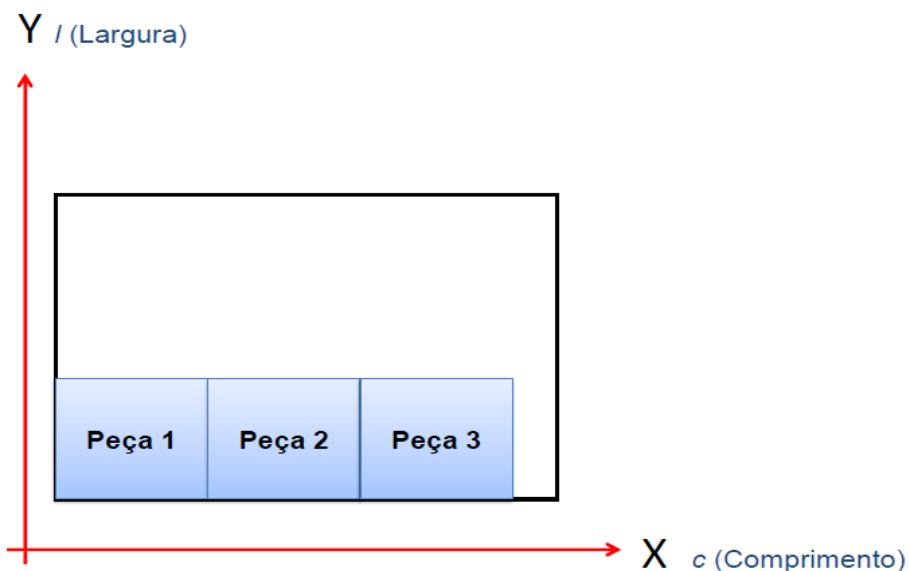


Figura 18 – Representação dimensão da peça

Os critérios de ordenação são baseados nas características geométricas dos itens e geram as sequências ordenadas, priorizando uma característica específica dos itens, como a maior largura de todas as peças.

Neste trabalho, no desenvolvimento dos dados de projeto, empregou-se o critério de ordenação de maior largura. Este critério permite otimizar os espaços na chapa. Esses espaços são preenchidos de acordo com o primeiro critério (maior largura de todas as peças dos dados de projeto)

A chapa em estudo possui um Comprimento  $X$  e Largura  $Y$ . Para todo o estudo em questão, essas dimensões são fundamentais para o cálculo do algoritmo e também para calcular a melhor disposição de corte e aproveitamento da matéria-prima.

O primeiro dado de entrada que deve ser considerado se refere às dimensões da chapa, em que os dados de projeto gerados num ambiente CAD dependem muito da informação da largura e comprimento da mesma, para distribuição geométrica das peças.

Através do aplicativo, devem-se identificar as dimensões de cada peça, e gerar os dados do projeto (Tabela 2), contento dimensões unitárias de cada peça. A partir desses dados, deve-se fazer uma distribuição geométrica das peças, limitando as dimensões da chapa e observando principalmente os arranjos de cortes guilhotinados que devem ser distribuídos conforme os critérios de ordenação que são abordados posteriormente.



Tabela 2 – Modelo de dados do projeto

Peça ( $i$ )	Largura ( $li$ )	Comprimento ( $ci$ )	Quantidade ( $qi$ )
1	$l1$	$c1$	$q1$
2	$l2$	$c2$	$q2$
-	-	-	-
-	-	-	-
$in$	$li(n)$	$ci(n)$	$qi(n)$

### 3.4. Procedimentos do arranjo no método empírico

Na técnica artesanal, já citada na introdução deste trabalho, de distribuição geométrica na chapa, o que tem como restrição é o sentido do veio (figura 19). O sentido do veio refere-se à disposição das fibras na madeira em sentido linear, e a importância do veio relaciona-se a aspectos estéticos que a madeira apresenta na montagem de algum tipo de móvel.

Por isso, o sentido do veio deve ser considerado na elaboração do corte da chapa, pois o sentido faz com que seja estabelecido o sentido de corte da peça ou da tira na máquina seccionadora. Além do sentido do veio obedecer a um critério estético no corte da peça, a posição de corte perante a chapa será primeiramente ordenar pela maior largura.

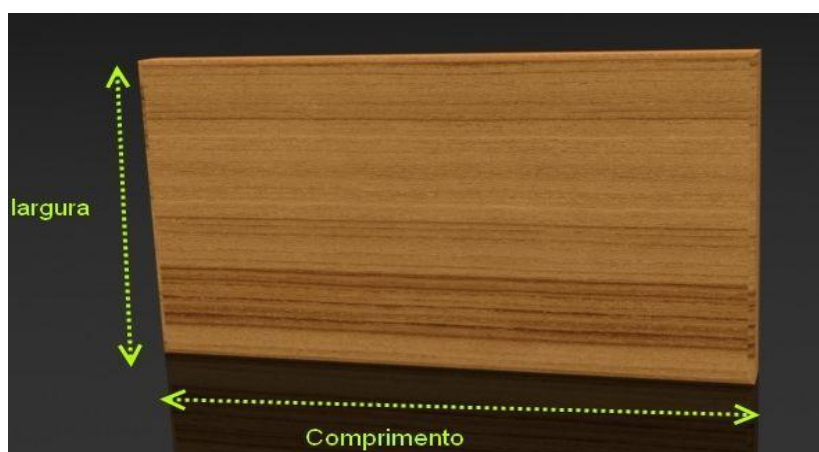


Figura 19 – Sentido do veio

A maior largura de todas as peças de um plano de corte qualquer está condicionada à largura inicial de toda a tira ou largura  $l_1$ , independente do comprimento de cada peça, ou seja, o corte da serra da seccionadora ocorre em todo o comprimento da chapa, conforme figura 19. O que posteriormente deve ser feito é o cálculo da sobra dessa tira, fazendo uma procura da próxima peça que possua uma largura inferior a largura da primeira tira ( $l_1$ ). Todas as características dimensionais das peças devem ser do uso de um aplicativo.

A metodologia deste trabalho propõe utilizar recursos do CAD para automatizar procedimentos que até então necessitam de um *software* para codificar e distribuir geometricamente as peças na chapa. Exemplo claro desses recursos é o *software* Corte Certo. Este *software* utiliza a linguagem CAD para extrair as características dimensionais de cada peça para fazer a distribuição mais apropriada para o aproveitamento delas na chapa. Com a metodologia proposta, o próprio ambiente CAD terá condições de interpretar essas características dimensionais e realizar a distribuição geométrica sem o uso de outro *software*. Ou também poderá utilizar *softwares* específicos citados anteriormente para gerar os planos de corte para uma máquina seccionadora adaptada.

A resolução para distribuição geométrica e otimização combinatória das peças na chapa visa a encontrar a melhor alternativa de distribuição geométrica, obedecendo ao sentido do veio e não permitindo tombamento, já que é uma distribuição estática, gerando o plano de corte para uma máquina seccionadora. A partir da geração dessa programação, é proposta a aplicação da técnica para corte de matéria-prima na máquina seccionadora convencional.

### **3.5. Geração do plano de corte para o método empírico**

Quando a geração do plano de corte necessitar de pouco processamento de dados, é viável a utilização de uma técnica simples e fácil, pois os aplicativos CAD levam bastante tempo para serem processados.

No plano de corte, os critérios adotados para o corte inicial da chapa são a largura da tira e o comprimento da tira, ambos condicionados aos valores

dimensionais da chapa e posteriormente ao somatório do comprimento de cada peça ( $P1$ ,  $P2$ , ver figura 20), em uma tira.

Também deve ser observado que, para ordenação das peças na chapa, os seguintes critérios:

- O sentido do veio será sempre o comprimento de cada peça na chapa, conforme ilustrado na figura 19;
- A maior largura identificada em um conjunto de peça deve ser à largura de toda a tira ( $L_n$ ), conforme ilustrado na figura 20;
- Se a soma dos comprimento das peças dentro de uma tira ultrapassar o comprimento total da chapa ( $c$ ), as peças devem ser inseridas na próxima tira ( $T_n$ ).

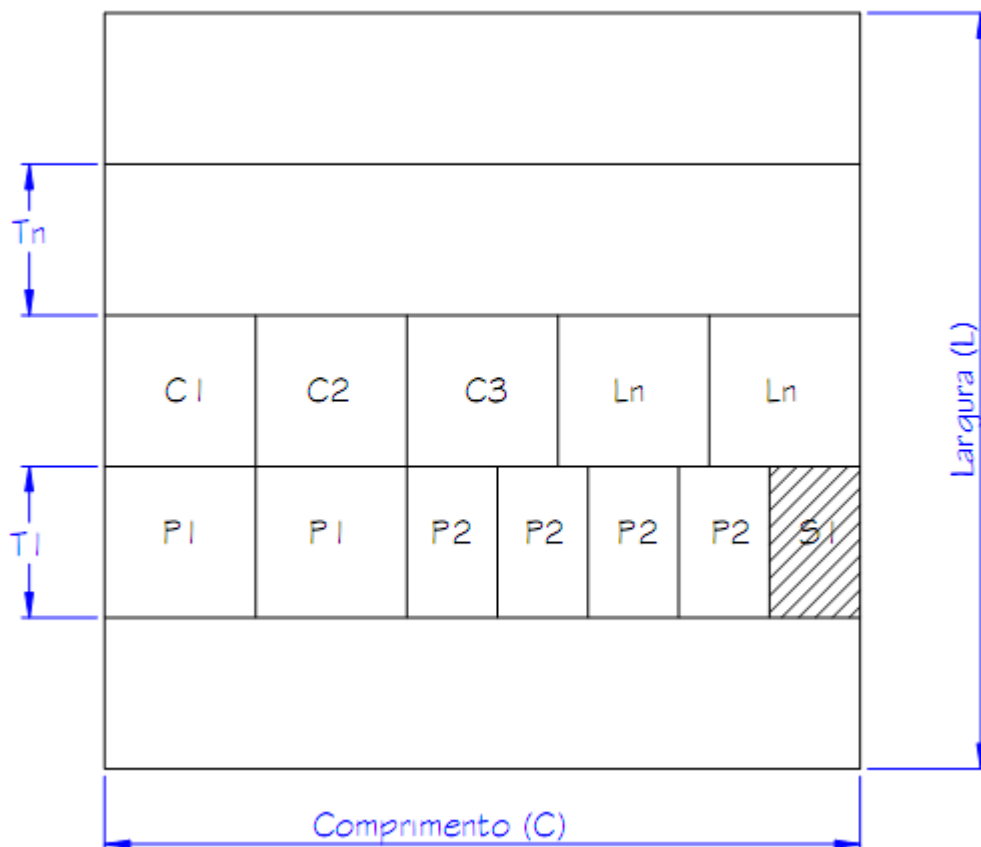


Figura 20 – Ilustração das peças em uma chapa

Considerando esses critérios, o aplicativo CAD pode fazer um levantamento da quantidade de peças que possuem essa mesma largura, independente do comprimento. Nesse caso, a tira deverá ser considerada como se fosse o

comprimento de toda a chapa. Nessa condição, o somatório total de comprimento das peças que possuem a mesma largura ou inferior a esta será o comprimento total ( $C$ ) da chapa, já que o comprimento representa o sentido do veio.

A próxima etapa é calcular o tamanho da próxima largura, que, nesse caso, é denominado  $T_n$ , em que “n” é considerado o número de tiras. Com isso, a quantidade de peças que deve compor essa largura da tira é ( $L_n$ ). Se houver alguma sobra ( $S_1$ ) com o comprimento inferior de uma peça que possua a mesma largura, a mesma sobra deverá ser deixada na chapa conforme figura 20 e outra peça de menor largura deve ser procuradas.

Também deve ser considerado que, quando no somatório total dos comprimentos das peças que percorre a mesma largura ultrapassar o comprimento de toda a tira, deve-se começar a distribuir as peças na tira posterior. Na sequência, ocorre a mesma situação para o cálculo do somatório total do comprimento das peças restantes.

No entanto, deve-se observar que o somatório das peças não deve ser quebrado, ou seja, deve-se buscar a próxima tira com a mesma largura, como ilustra a figura 20. Como consequência, pode haver algumas peças da mesma largura em tiras diferentes.

### **3.5.1. Geração do programa CN para o método empírico**

No trabalho, apresenta-se uma metodologia para um sistema integrado com uma técnica artesanal para a geração do programa CN, como mostra o fluxograma na Figura 21.

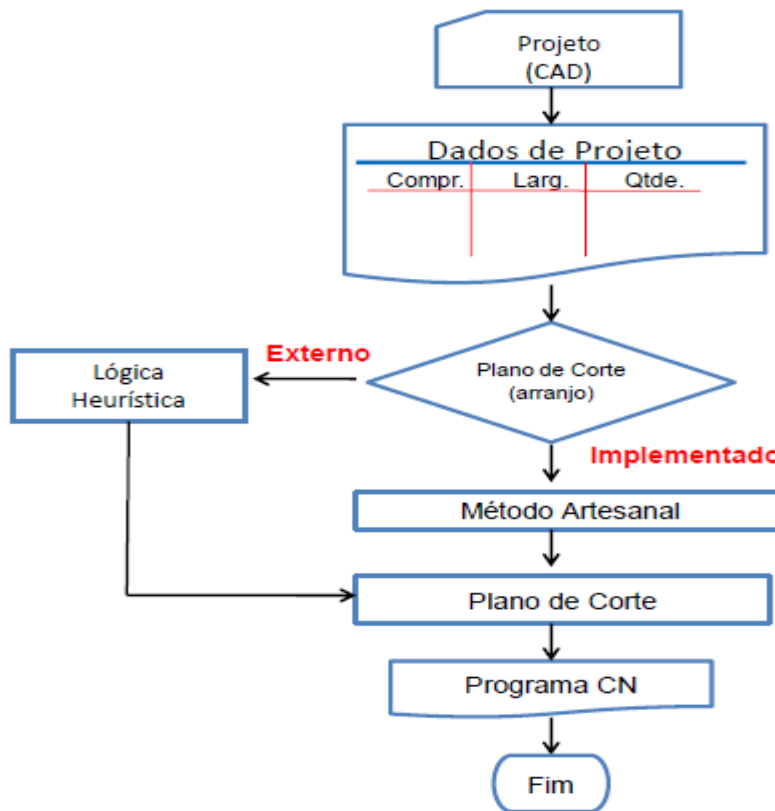


Figura 21 – Fluxograma para geração do programa CN.

O código que gera o programa CN está condicionado aos eixos de movimentação da máquina seccionadora CN. O eixo X está condicionado à movimentação da serra com relação ao comprimento da chapa. O eixo Y está relacionado à movimentação do encosto na largura da chapa conforme ilustra a figura 22.

A proposta deste trabalho é propor um modelo de integração CAD/CAM a partir de aplicativos CAD. Os arquivos apresentam sequências de operações codificadas em linguagem CNC, na qual a máquina seccionadora interpretará esses dados. Essa linguagem obedece à ISO 1056.

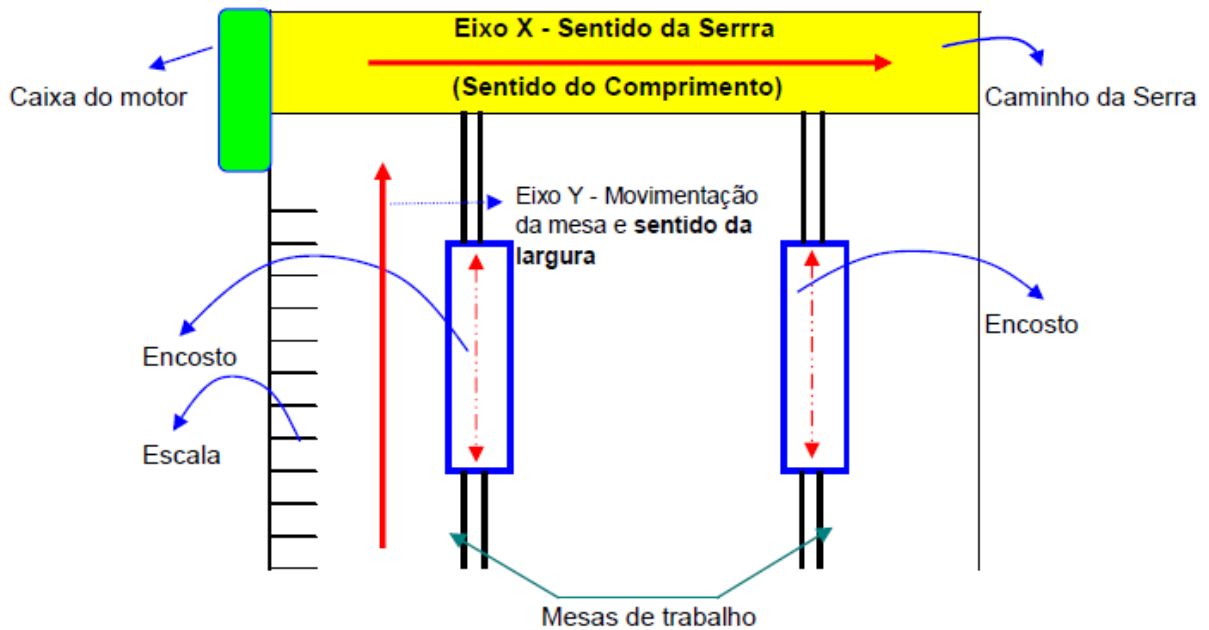


Figura 22 – Ilustração de uma máquina seccionadora

Uma seccionadora CNC emprega um programa CN, e, nesse caso, utilizam-se os seguintes comandos:

- G0: para movimentação em velocidade rápida da mesa;
- G1: velocidade de avanço da serra;
- M0: utilizado para parada do programa;
- M3: Aciona a ferramenta (serra);
- Y: Coordenada de posicionamento da chapa;
- X: Coordenada de posicionamento de fim de curso da serra;
- M2: Finaliza o programa x, indicando as posições relacionadas à coordenada X

### 3.6. Fluxograma de identificação das peças no método empírico

O fluxograma do processo de identificação das peças representa as atividades de interligação que cada processo passa com suas atividades e decisões. O fluxo inicia com a identificação inicial de cada peça do projeto. Essa

identificação consiste no primeiro aspecto: identificar o sentido do veio, no qual é representado pelo comprimento da peça e posteriormente definir a sua largura.

Na peça, quando identificado o seu sentido do veio, são atualizados na tabela do plano de corte, a sua largura e comprimento e também a sua quantidade conforme a característica de cada projeto. Após todas essas informações serem preenchidas, o algoritmo se depara com uma atividade de decisão, ou seja, a criação de uma nova peça ou não. Caso o plano de corte necessitar de mais uma peça para completar o plano, o fluxo retoma ao ponto inicial do Fluxograma conforme ilustra a figura 23.

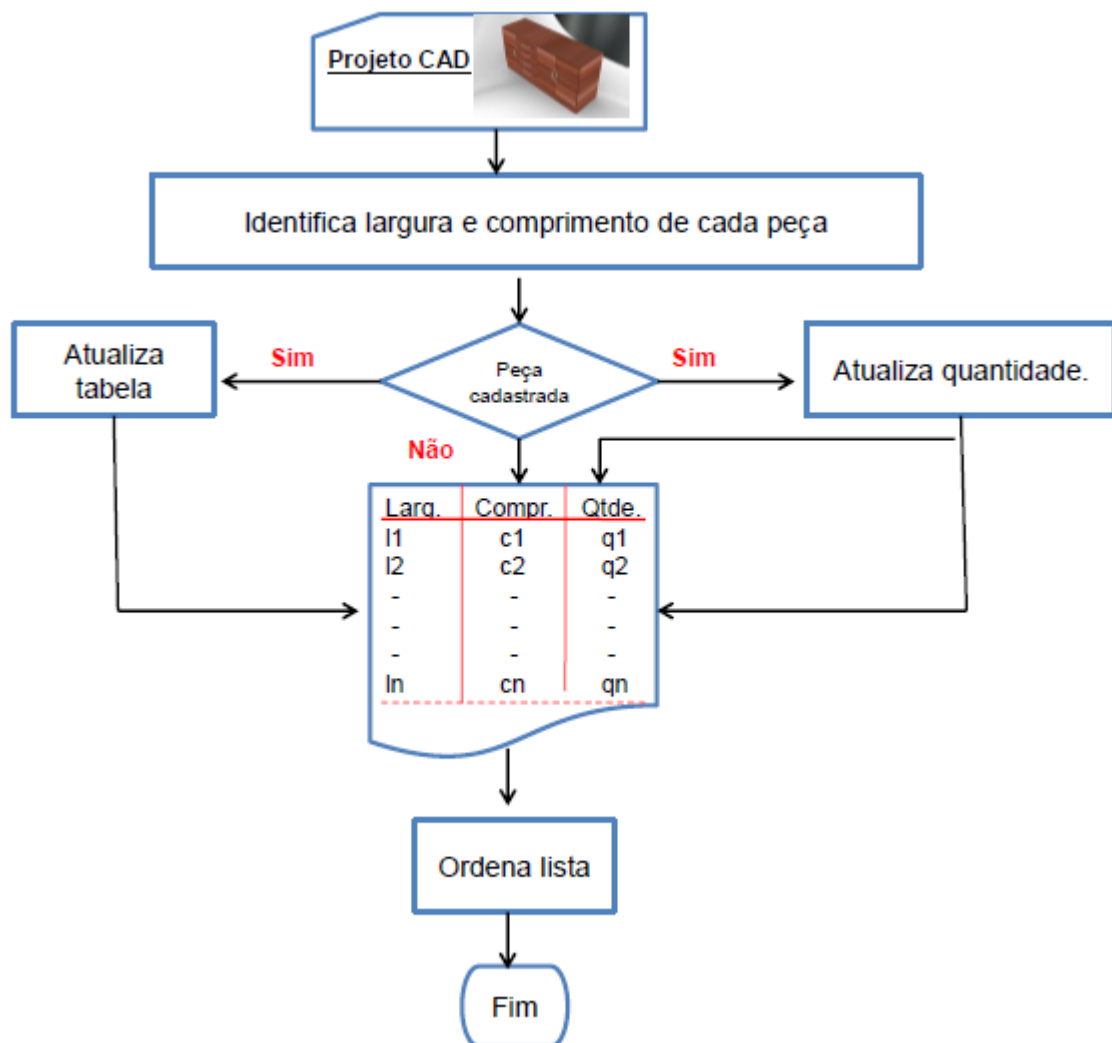


Figura 23 – Fluxograma do processo de identificação

### 3.7. Algoritmo para corte da tira no método empírico

O fluxograma do corte de tiras apresenta as etapas que o algoritmo percorre até chegar a geração do plano de corte. Este fluxograma é aplicado somente no processo de corte das tiras na chapa.

Como característica principal, este fluxograma possui três etapas de decisão. A primeira decisão está vinculada à largura da tira, a segunda decisão consiste em verificar o comprimento da tira e a última em verificar a quantidade de peças encontradas.

O fluxograma prescreve a sequência lógica que um algoritmo percorre para a solução do problema de corte. Isso se refere apenas à largura da tira de modelo  $Tn$  conforme a figura 20. O fluxograma está representado na figura 24. Sua representação esquematiza o andamento de cada etapa, referindo cada atividade que o algoritmo calcula para concluir cada etapa.



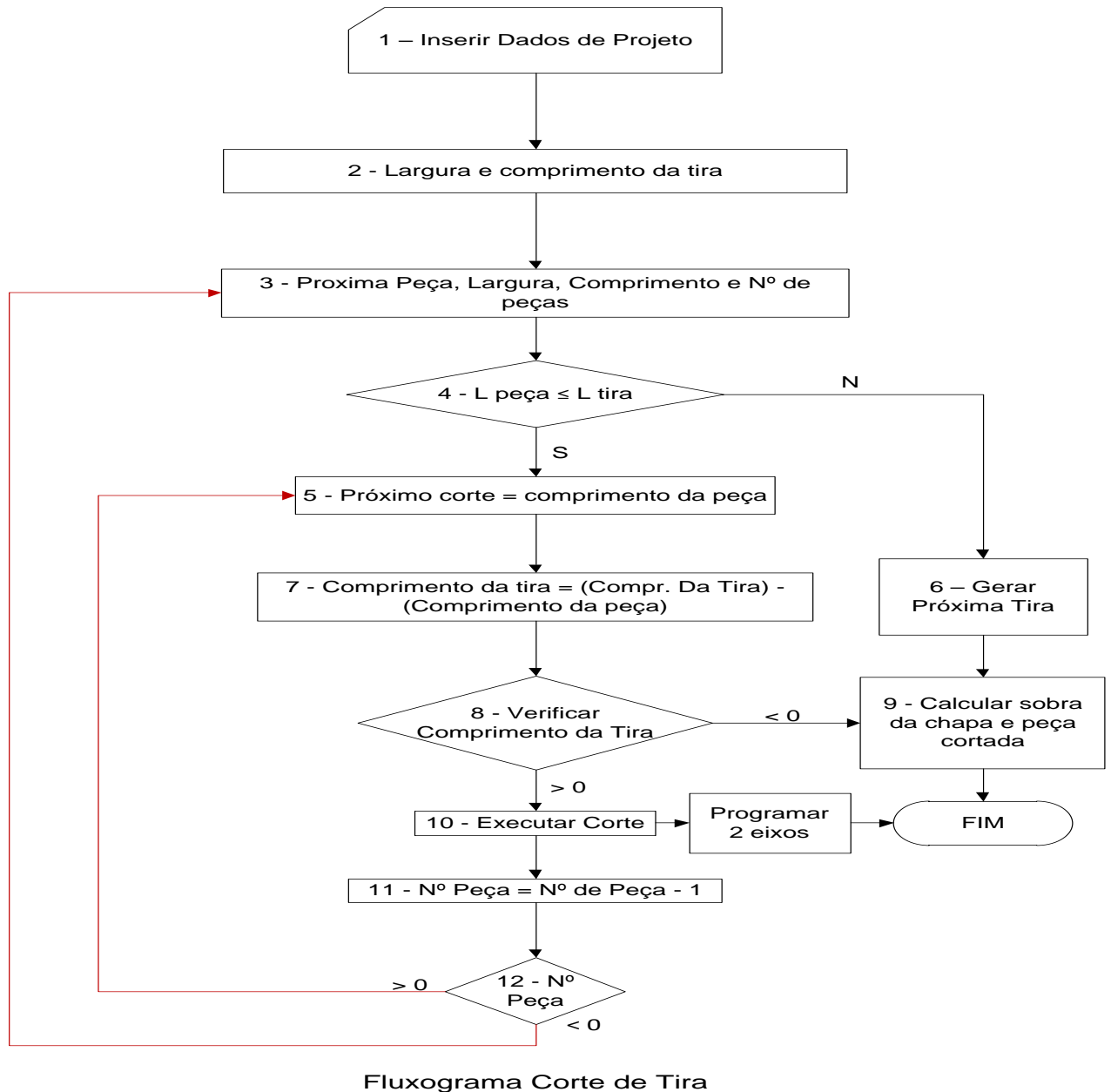


Figura 24 – Algoritmo para corte de tira

O fluxograma está dividido em doze etapas. Dentro dessas etapas, dez delas são etapas com procedimentos definidos, ou seja, essas atividades não necessitam de nenhuma decisão.

As doze etapas serão descritas em sua totalidade, com o seu procedimento algébrico detalhado. Porém, esse algoritmo deverá rodar apenas para o cálculo de corte das tiras, deixando as sobras geradas no corte de cada tira  $T_n$  restritas a outro fluxograma.

É necessário primeiramente disponibilizar as peças nos dados de projeto de forma que as peças sejam dispostas de maneira decrescente no tamanho de sua largura, pois essa disposição facilitará o cálculo e também a verificação desta condição. Segue a descrição das etapas do fluxograma.

**Etapa 1 - Inserir Dados de projeto:** Os dados que deverão ser inseridos para o plano de corte das tiras são recebidos do fluxograma do processo de identificação (figura 23) já estabelecido conforme as peças que deverão ser cortadas.

Também deve ser observado nessa etapa que as primeiras informações se referem às dimensões da chapa – comprimento ( $c$ ) e largura ( $l$ ) que servirão como base de estudo do algoritmo para cálculo das tiras e o corte das peças. Essas chapas possuem diversas dimensões – padrões comerciais de compra -, com isso, essas dimensões são consideradas para a produção das peças em um sentido (como é o caso do veio).

A figura 20 ilustra as características dimensionais (comprimento e largura) da chapa para o seu uso final, resultando a quantidade de peças conforme os dados de projeto.

**Etapa 2 – Informar largura e comprimento da tira:** Nesta etapa, o procedimento inicial será a informação da largura da tira. Esta largura está sempre condicionada à largura total da chapa ( $l$ ). Portanto, quando inseridos os dados iniciais de comprimento da chapa, os dados de largura da tiras sempre serão iguais a esta dimensão. No fim, a peça está condicionada ao somatório das peças que compõem a tira.

Após a informação da largura da chapa, outro dado a ser informado é o do comprimento da tira ( $T_c$ ). Este comprimento sempre será dado através do programa de corte gerado pelo setor de produção, conforme a ilustração da figura 20. O comprimento da tira estará condicionado ao somatório das peças da primeira tira conforme ilustração da figura 20.

**Etapa 3 – Próxima peça, largura, comprimento e número de peças:** esta etapa dá ênfase ao cálculo geométrico de cada peça que compõe todas as tiras da chapa. O cálculo é iniciado com o critério da etapa 1, que se baseia no plano de corte no qual a informação inicial é dada com o maior comprimento da chapa.

Após verificar o comprimento final da chapa, deve ser observada a largura da tira, no qual essa tira será uma peça única. Com essas informações, o algoritmo já

possui uma tira T1 para ser cortada. Após definido o corte dessa tira, analisa-se a quantidade de peças possíveis dentro do corte dessa tira.

Deve-se considerar que cada peça incluída no plano de corte irá se chamar (P) e que haverá quantidades de peças incluídas na chapa, as quais poderão ser denominadas P1, P2, P3...Pn. Também deverá ser observada a quantidade de peças que compõem cada tira, já que essas peças deverão estar com a mesma largura de corte da tira, por isso se deve observar a equação 1:

$$[ \sum p_1 + p_2 + p_3 \dots p_n \leq \text{Comprimento da tira 1} ] \quad (1)$$

A fórmula 1 prescreve que o somatório das peças que compõem a primeira tira não deve ser maior que o comprimento total da tira, visto que, se o somatório das peças que possuem o mesmo comprimento for maior que a tira 1, a tira T1 deve ser cortado em outras tiras a partir das peças restantes, dando origem à tira T2.

**Etapa 4 – Largura da peça (L) ≤ Largura da Tira:** A etapa 4 é representada pela primeira decisão de todo o Fluxograma. Essa decisão está condicionada à largura da peça referente à largura da tira. Como prescreve nessa etapa, a largura da peça sempre deverá ser menor ou igual à tira.

Se a largura da peça for maior que a largura da tira, a condição deverá ser em ir para etapa 6, a qual prescreve gerar um novo cálculo da tira conforme a largura dessa peça. Mas, se a largura da peça for menor ou igual à largura da tira, essa condição passa para a etapa 5, que gera um corte através do comprimento da peça.

**Etapa 5 – Próximo Corte = Comprimento da Peça:** Identificada a quantidade de peças que compõem a primeira tira e também a sua largura, o algoritmo irá calcular como deverá ser realizado o corte do comprimento de cada peça, pois, identificado esse comprimento, todas as tiras serão invertidas para serem cortadas em outro sentido da peça.

É fundamental essa identificação, considerando que o somatório de todas as peças deverá obedecer ao critério da fórmula 1. Esse critério está prescrito no algoritmo de modelo *String*, utilizado para representar o modelo matemático.

**Etapa 6 – Gerar novo cálculo da Tira:** Essa etapa antecede uma decisão descrita na etapa 4, em que a condição é atender a largura da tira, ou seja, a peça

não deve ultrapassar essa largura; caso isso, aconteça essa etapa serve para gerar um novo cálculo da tira através do seu comprimento.

**Etapa 7 – Comprimento da Tira = (Comprimento da tira) – (Comprimento da Peça):** Nessa etapa do fluxograma, o comprimento da tira deverá ser sempre rodado para validar o seu comprimento, que não deverá ser maior que o comprimento da chapa.

A tira possui um comprimento fixo CT (Comprimento da tira), pois ela está prescrita no plano de corte inicial; com isso, a cada corte de comprimento de cada peça, o comprimento da tira sempre será descontado com o somatório do comprimento total das peças

O somatório das peças sempre da primeira tira deverá obedecer ao critério do comprimento (todas as peças devem ter comprimento igual) e não deve ultrapassar o limite máximo do comprimento da tira, por isso essa condição é expressa na equação 2:

$$CT = (\text{Comprimento total da tira}) - (\text{Comprimento da Peça}) \quad (2);$$

Após verificar essa condição, a próxima etapa consiste na verificação do comprimento da tira, pois a tira não deve ultrapassar o seu comprimento total. Se isso ocorrer, o corte da tira deverá passar para a tira posterior.

**Etapa 8 – Verificar comprimento da tira:** A etapa 8 é uma etapa composta no fluxograma por duas decisões conforme o seu resultado, e ambas estão relacionadas ao comprimento da Tira.

Na equação 2, o CT (Comprimento da tira) está condicionado ao resultado maior ou menor que zero. Na condição do resultado ser menor que zero, resultará na **Etapa 9** que é calcular a sobra da chapa e peça cortada. Por outro lado, quando o resultado for maior que zero, resultará na etapa 10 (Executar Corte), que compõe o processo normal desse fluxograma. Essa etapa será abordada posteriormente.

Para ilustrar melhor ambas as decisões, volta-se a condição da etapa 5, que ilustra a equação 2.

A equação sempre estará validando o comprimento total da tira, com isso cada peça que somada com o seu comprimento será condicionada ao comprimento

total da tira, ou seja, a cada peça  $p_n$  da tira  $t_n$ , será subtraído o comprimento total da tira. Essa ilustração está representada melhor na figura 20.

Quando, nessa condição, o comprimento da tira (CT) for menor que o comprimento total da tira ou do comprimento total da chapa, prossegue-se à etapa 7, que refere-se a “Calcular sobra da chapa e peça não cortada”. Após esse cálculo, a etapa é finalizada.

Na outra condição, quando o comprimento da tira (CT) for maior que o comprimento total da chapa, deve-se proceder à etapa 8, que verifica o comprimento da tira, pois a tira T1 ainda não está completa na sua totalidade. Obedece-se sempre ao critério da largura da peça, por isso o cálculo fará com que a largura da próxima tira seja de valor dimensão menor ou igual em relação à tira anterior.

Segue logo, na figura 25, a ilustração geométrica quando o comprimento total da tira for maior que o comprimento da chapa, resultando um excesso e conseqüentemente uma nova tira.

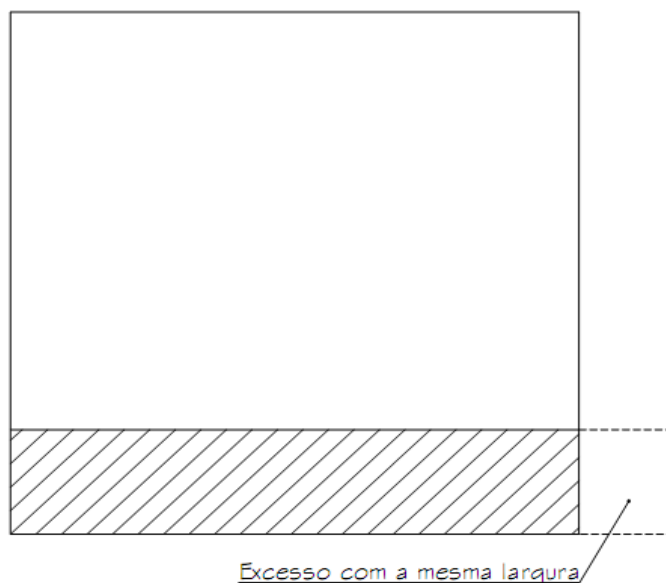


Figura 25 – Excesso de peça

Conforme a ilustração da figura 25, a sobra da tira T1 estará sempre condicionada ao comprimento da chapa, nessa situação, como se pode observar, a alternativa é completar o corte em outra tira que pode ser descrita como T2. Quando ainda assim não for completada a condição, vai-se para a tira T3 e até a condição ideal  $T_n$ .

**Etapa 10 – Executar Corte:** A execução dessa etapa prescreve uma ilustração imaginária do corte de cada peça. Essa peça estará sempre condicionada ao comprimento da chapa.

Também a execução do corte da peça representa o melhor aproveitamento da peça na chapa, baseado em critérios primeiramente na largura da peça (l) e posteriormente no seu comprimento (c).

**Etapa 11 – N° de peça = N° de peça – 1:** A etapa 11 refere-se à quantidade de peças cortadas em uma só tira, com isso se coloca uma condição que se refere à quantidade de peças que poderão ser cortadas em uma tira com a quantidade de peças que possuem a mesma largura.

Nessa última situação, a quantidade total de peças ultrapassará a quantidade de se acomodar as peças em apenas uma tira. Por isso, o próximo passo dessa etapa possui uma atividade no fluxograma de decisão. Para atender a essa condição, tem-se duas decisões, uma quando o número de peças for maior que zero ( $N^{\circ} \text{ peça} > 0$ ) e outra quando o número de peças for menor que zero ( $N^{\circ} \text{ peça} < 0$ ).

**Etapa 12 – N° de Peças:** Na última etapa do fluxograma, este terá duas condições para a sua validação. Conforme prescrito na etapa anterior, a primeira condição será quando o número de peças for maior que zero ( $N^{\circ} \text{ peça} > 0$ ), e a segunda condição quando o número de peças for menor que zero ( $N^{\circ} \text{ peça} < 0$ ).

A validação para as duas condições estará prescrita na equação 3:

$$N^{\circ} \text{ de peças} = N^{\circ} \text{ de peças} - 1 \quad (3)$$

A condição 1 prescreve que, quando o resultado for maior que zero ( $N^{\circ} \text{ peça} > 0$ ), para atender a condição, o Fluxograma fará um caminho novamente para a **Etapa 5**, pois, quando o número total de peças com a mesma largura for superior a zero, calcula-se novamente o próximo corte da peça.

A condição 2 prescreve que, quando o resultado for menor que zero ( $N^{\circ} \text{ peça} < 0$ ), o fluxograma para essa condição é percorrer o caminho para a **Etapa 3**, já que a mesma prescreve novamente um cálculo da peça perante a chapa baseado em sua largura e no seu comprimento.

O somatório do número de peças refere-se sempre ao somatório total de cada comprimento da peça. Por isso, é fundamental observar o comprimento da chapa, já que ela uma vez mudada altera todas as condições do fluxograma.

### 3.8. Geração do programa CN a partir do arranjo de corte

Os softwares comerciais utilizados para gerar os planos de corte para máquinas seccionadoras, tanto convencionais ou seccionadoras CNC, e também para gerar os programas CN somente para seccionadoras CNC são encontrados com facilidade no mercado nacional.

Entre alguns softwares, podem-se citar o Optimik (OPTMIK, 2011) e o Corte Certo (CORTE CERTO, 2011). Cada um possui características diferentes, mas com o mesmo propósito, o de gerar os planos de corte. O *software* utilizado na metodologia deste trabalho é o Optimik.

Os *softwares* comerciais possuem uma característica de gerar os arranjos de corte para máquina seccionadora como ilustra a figura 26. A proposta do trabalho é gerar a programação CN para máquina seccionadora CNC ou seccionadora adaptada através de um arranjo definido.

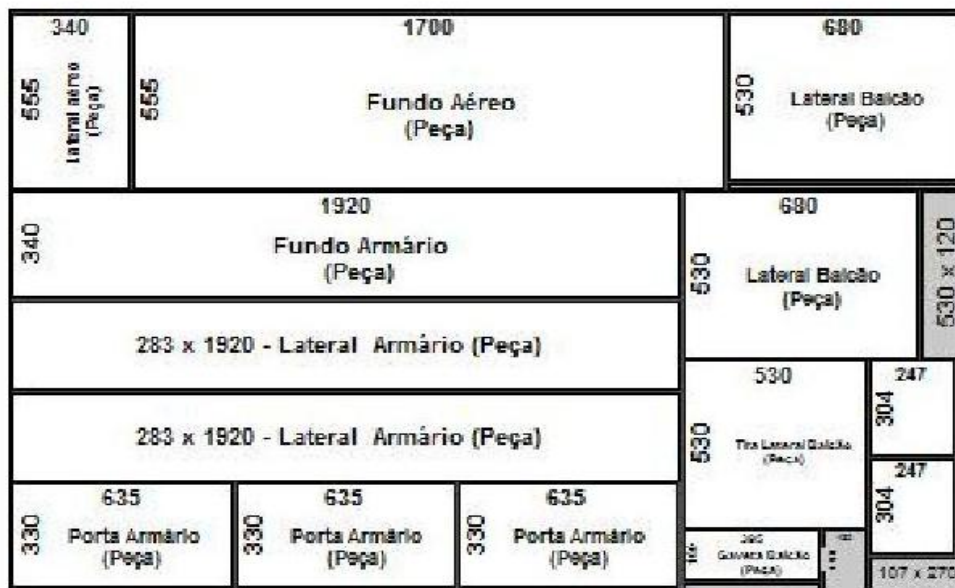


Figura 26 – Plano de Corte gerado pelo *software* Optimik

Para iniciar o programa CN, o primeiro critério proposto é:

- Na direção X, usar o mesmo comprimento que possui o comprimento da chapa, ou seja, identificar na chapa quantas linhas o arranjo possui com o mesmo comprimento total da chapa. Com isso, identificam-se no arranjo as primeiras tiras a serem cortadas no eixo x, como ilustra a figura 27.

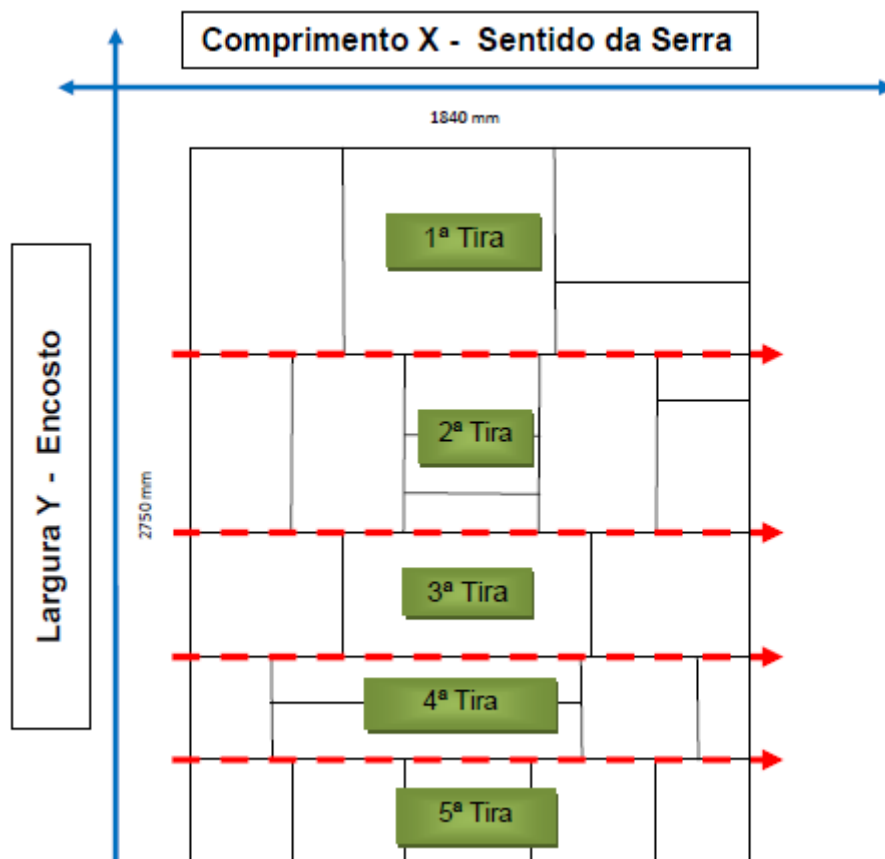


Figura 27 - Ilustração da formação das tiras.

Com a formação das tiras como ilustra a (figura 27), elas deverão ser cortadas, no sentido X da chapa. Para isso, a segunda etapa é:

- Começar a sequência com a tira de maior largura no arranjo e fazer um tombamento de 90°, como ilustra a figura 28. Após esse tombamento, surgem peças com a mesma largura da tira, estando a tira finalizada somente quando todas as peças forem desmembradas da primeira tira. Poderão surgir novos tombamentos de 90° com as partes cortadas da



tira como ilustra a figura 28, pois para obter a peça definitiva, deve-se dar tombamentos na tira até obter todas as peças que compõe uma tira. Neste caso o processo dessa tira estará encerrado.

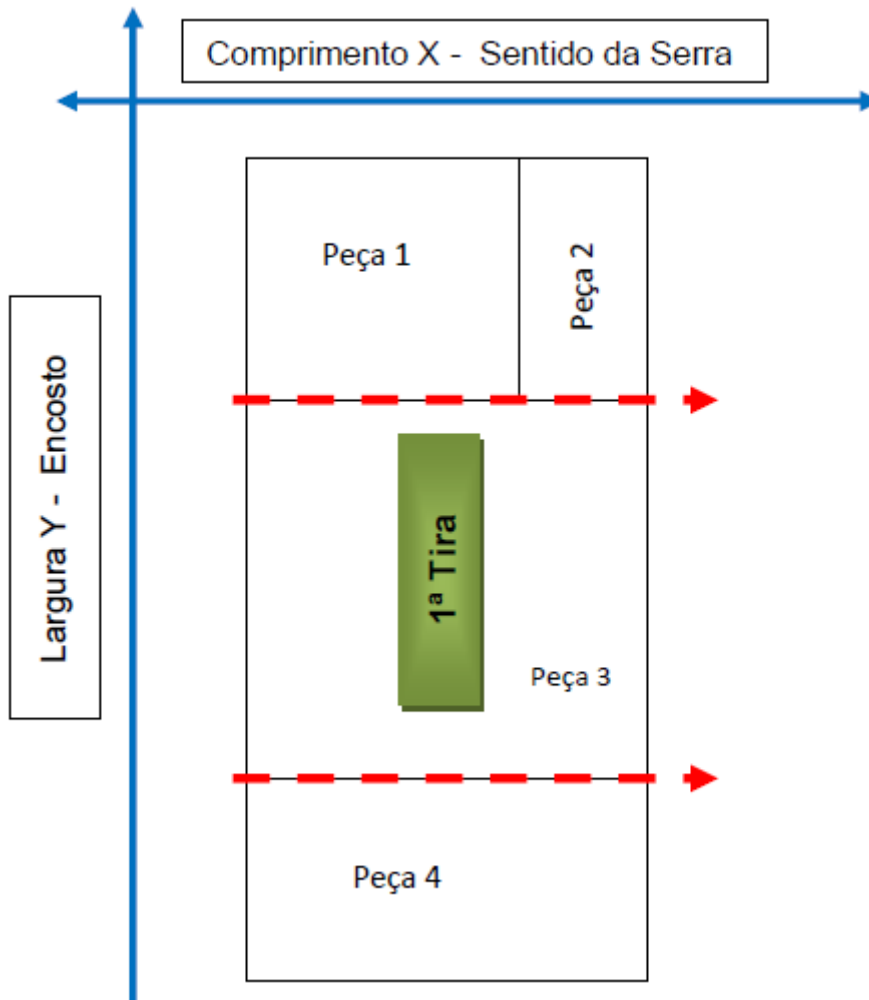


Figura 28 – Tombamento em 90° da 1ª tira.

Na sequência, da programação, busca a próxima tira com a mesma ou largura ou largura inferior da tira anterior. Faz-se o mesmo processo de um tombamento de 90° para poder ser desmembrada a peça da tira, a programação dessa tira estará finalizada quando todas as peças forem desmembradas.

## 4. ANÁLISE DA TÉCNICA

Os recursos CAD para a realização da distribuição geométrica das peças em uma chapa de madeira descritas na metodologia podem ser aplicados em empresas do setor moveleiro que utilizam algum recurso CAD para a elaboração dos seus projetos.

Os dados de projeto proveniente do aplicativo CAD ou de softwares especializados são compostos de dados textuais relacionados às ações matemáticas que o *software* faz para distribuir geometricamente as peças de acordo com os seus critérios estabelecidos.

Neste trabalho, foram construídos dois exemplos de dados de projetos provenientes dos seguintes projetos para rodar no Aplicativo CAD:

- Projeto 1 - Cozinha;
- Projeto 2 - Quarto.

A figura 29 apresenta o projeto da cozinha.

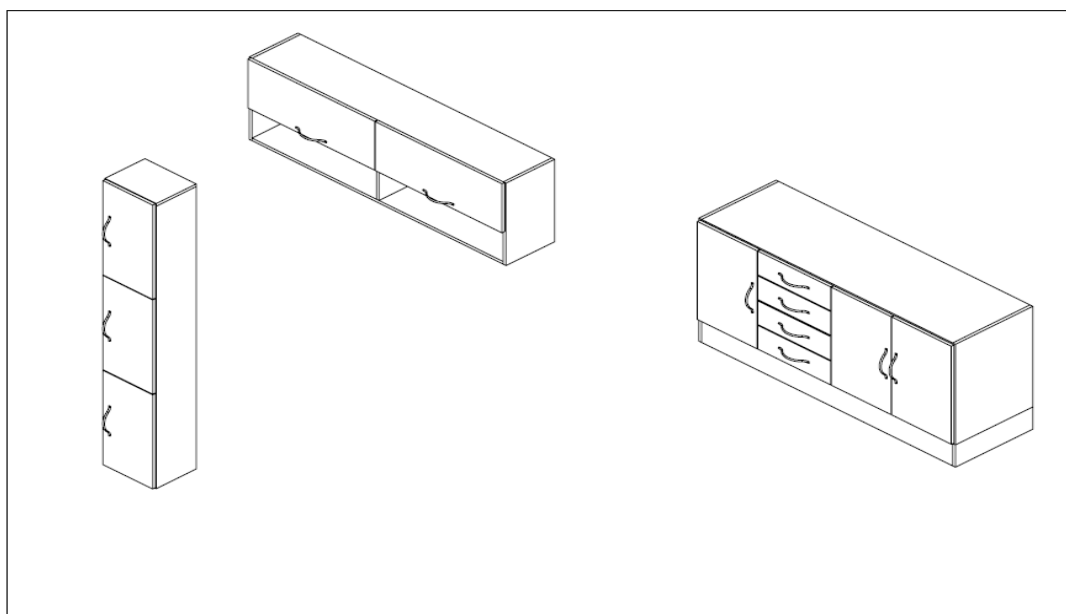


Figura 29 – Projeto 1 (cozinha)

O projeto do quarto pode ser visualizado na figura 30.

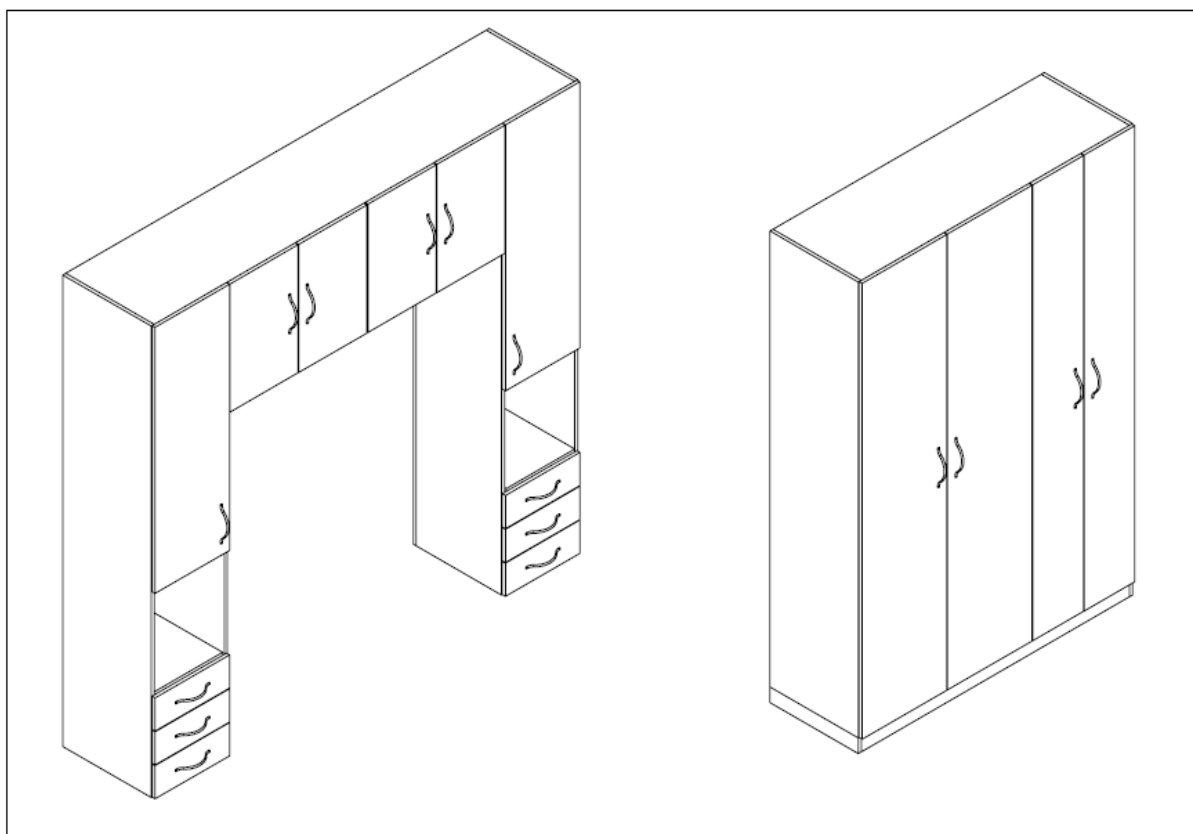


Figura 30 – Projeto 2 (quarto)

Nesses dois projetos, foram adotados os critérios de ordenação conforme especificados na seção Metodologia. Os dados do projeto estão registrados nas tabelas 3 e 4.

Tabela 3 – Projeto 1 (Cozinha)

Item	Descrição	Largura ( L ) mm	Comprimento (C) mm	Qtde.	Área total (mm²)
PC1	Lateral - Balcão	680	530	2	720800
PC2	Porta - Balcão	660	395	3	782100
PC3	Porta - Armário	635	330	3	628650
PC4	Fundo - Aéreo	555	1700	1	943500
PC5	Lateral - Aéreo	555	340	3	566100
PC6	Tira Lateral - Balcão	530	530	2	561800
PC7	Gaveta - Balcão	395	160	4	252800
PC8	Fundo - Armário	340	1920	1	652800
PC9	Base - Aéreo	340	1700	1	578000
PC10	Porta - Aéreo	330	839	2	553740
PC11	Lateral - Armário	283	1920	2	1086720
PC12	Divisória - Armário	247	304	3	225264
<b>Soma:</b>					<b>7.552.274</b>

Na sequência, é aplicado o Algoritmo nos dois dados de projeto para validar a sua funcionalidade.

Tabela 4 – Projeto 2 (Quarto)

Item	Descrição	Largura (L)	Comprimento ( C )	Qtde.	Área total (mm <sup>2</sup> )
PQ1	Lateral – Roupeiro	540	2410	2	2602800
PQ2	Lateral – Aéreo	540	2410	4	5205600
PQ3	Gaveta – Roupeiro	510	150	2	153000
PQ4	Porta – Roupeiro	500	2340	2	2340000
PQ5	Fundo – Aéreo	460	2410	2	2217200
PQ6	Tampa – Aéreo	450	540	2	486000
PQ7	Porta – Aéreo	440	660	2	580800
PQ8	Gaveta – Aéreo	440	170	6	448800
PQ9	Porta – Aéreo	395	660	4	1042800
<b>Total</b>					<b>15077000</b>

As dimensões da chapa que comercialmente são compradas possuem um tamanho padrão de mercado de 2750x1840mm, tendo uma área total de 5.060.000mm<sup>2</sup>. Em todo o estudo, utilizou esse padrão comercial, pois demanda um maior volume de produção e favorece o seu custo de aquisição de compra. Mas independente do tamanho comercial da chapa, o Algoritmo não se altera.

Com esses dados de peças estabelecidos para distribuição geométrica da peça, o próximo passo é a identificação das peças que estão no ambiente CAD, separando cada uma delas por projeto.

#### 4.1. Utilização do Aplicativo CAD no Projeto 1

Os dados de do Projeto 1, conforme a tabela 3, foram coletados conforme o projeto da cozinha ilustrado na figura 29. Esse projeto é composto por doze itens e vinte e sete peças, conforme a informação da tabela, na qual esses dados refere-se a quantidade e dimensões individuais de cada peça, para disponibilizar geometricamente as mesmas dentro da chapa.

Atualmente, essa distribuição se faz pelo critério de maior largura entre todas descritas, obedecendo sempre ao sentido do veio de cada peça perante o móvel. A importância do sentido do veio fica evidenciada pelo apelo estético que a madeira deve ter perante o restante do móvel, por isso, independente se for uma gaveta, uma porta ou uma lateral, o sentido do veio deve ser obedecido.

Segue a figura 31, que ilustra dois arranjos do plano de corte do projeto cozinha, necessários para a modulação das peças em um produto, que foi simulado pelo aplicativo CAD proposto.

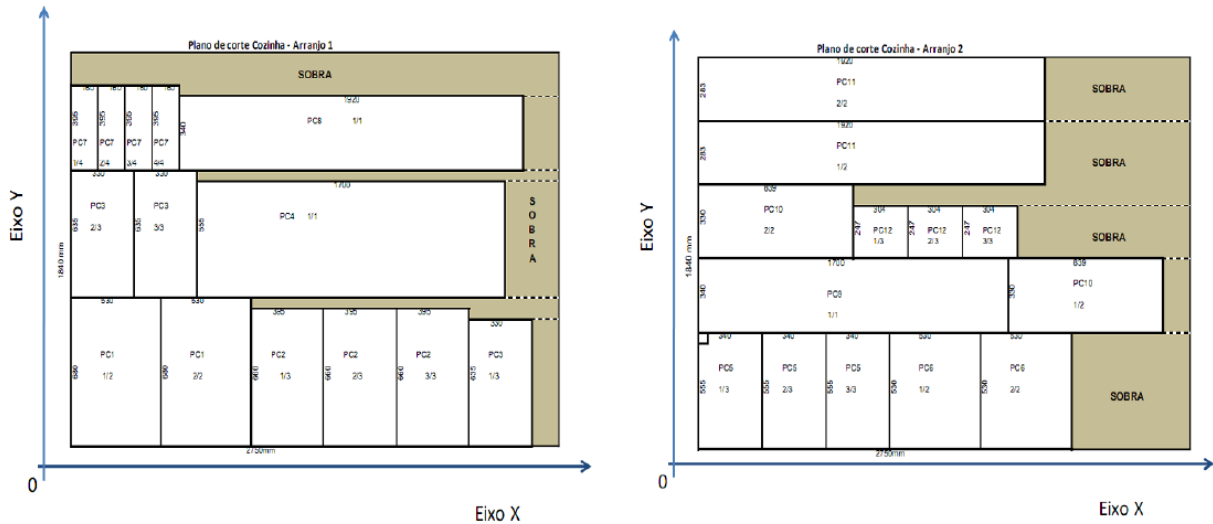


Figura 31 – Arranjo 1 e 2 do projeto 1 (cozinha)

Com isso, o aplicativo CAD faz a distribuição geométrica de todas as peças do projeto 1. Com a sua aplicação, para fazer o método empírico, percebe-se que, na distribuição das peças, necessita-se de duas chapas para atender a quantidade de peças do projeto 1.

A soma das áreas individuais de todas as peças necessárias para o projeto cozinha, totaliza uma área de 7.552.274mm<sup>2</sup>. Como o cálculo da área da chapa é de 5.060.000mm<sup>2</sup>, precisa-se de duas chapas, para a produção de todas as peças, sendo necessários dois arranjos de distribuição do projeto, ou seja, um total de 10.120.000mm<sup>2</sup>. Neste caso, o projeto 1 teve um aproveitamento de 74,62% de área ocupada nesse projeto.

#### 4.1.1. Geração do programa CN no método empírico para o projeto 1

Para o projeto 1 (Cozinha), o plano de corte que o aplicativo CAD gera, possibilita ao operador da máquina seccionadora uma boa interpretação da sequência de corte. Após o aplicativo CAD fazer a distribuição geométrica das peças, ele gera um programa CN para máquina seccionadora.

Para uma melhor compreensão do plano de corte, este programa é utilizado como se fosse uma sequência de corte. Primeiramente, é proposta a inserção de uma chapa na máquina seccionadora, com um detalhe de sempre obedecer ao sentido do veio. Com isso, na máquina seccionadora, toda e qualquer chapa deve ser posicionada entre o sentido do eixo Y (Movimentação da mesa) e o eixo X (Serra) como ilustra a figura 32 .

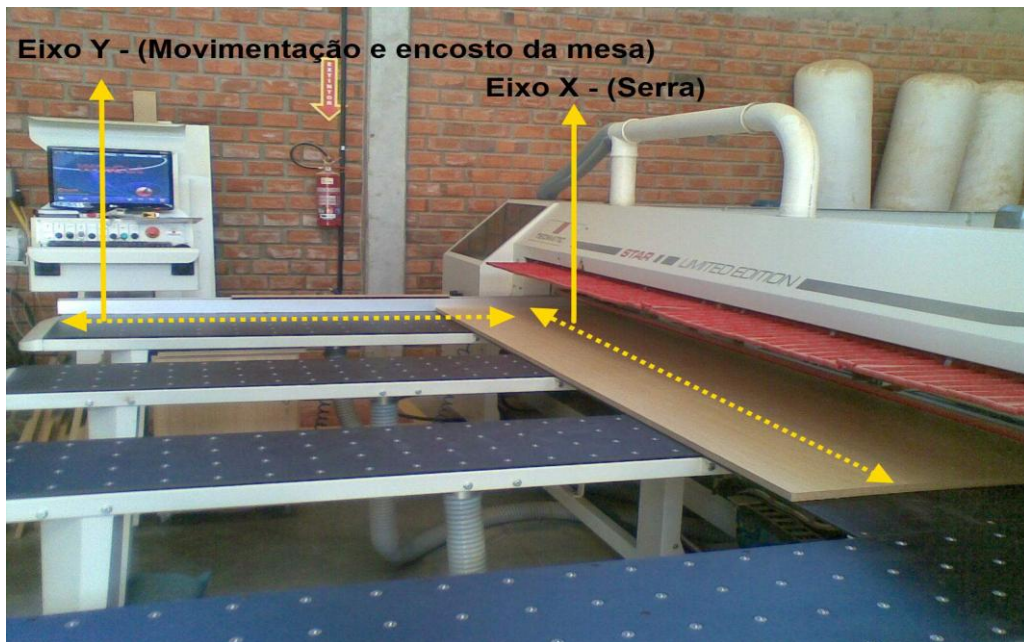


Figura 32 – Posicionamento da chapa na máquina seccionadora

Na sequência, quando posicionado a chapa na seccionadora, o aplicativo CAD inicia o seu cálculo com o tamanho da maior largura da tira na chapa, neste caso 680mm, e, na sequência, o aplicativo calcula a segunda e a terceira maiores larguras que cabe ainda dentro desta mesma tira, não ultrapassando um comprimento total da chapa que é de 2750mm as quais possuem 660mm e 635mm de largura. Por fim, na mesma tira permite uma largura de 395mm.

A figura 33 ilustra a área onde será cortada a chapa como se fosse a primeira tira. Esta tira possui largura de 680mm e é composta por seis peças. A última tira que é o corte 4, com 395mm de largura é a sobra de todo o plano de corte, ou seja, esta área não será aproveitada para fabricação de nenhuma peça, por isso o aplicativo já calcula a sua sobra. No entanto, não pode ser desconsiderada a largura da serra, que neste caso é de 5mm.

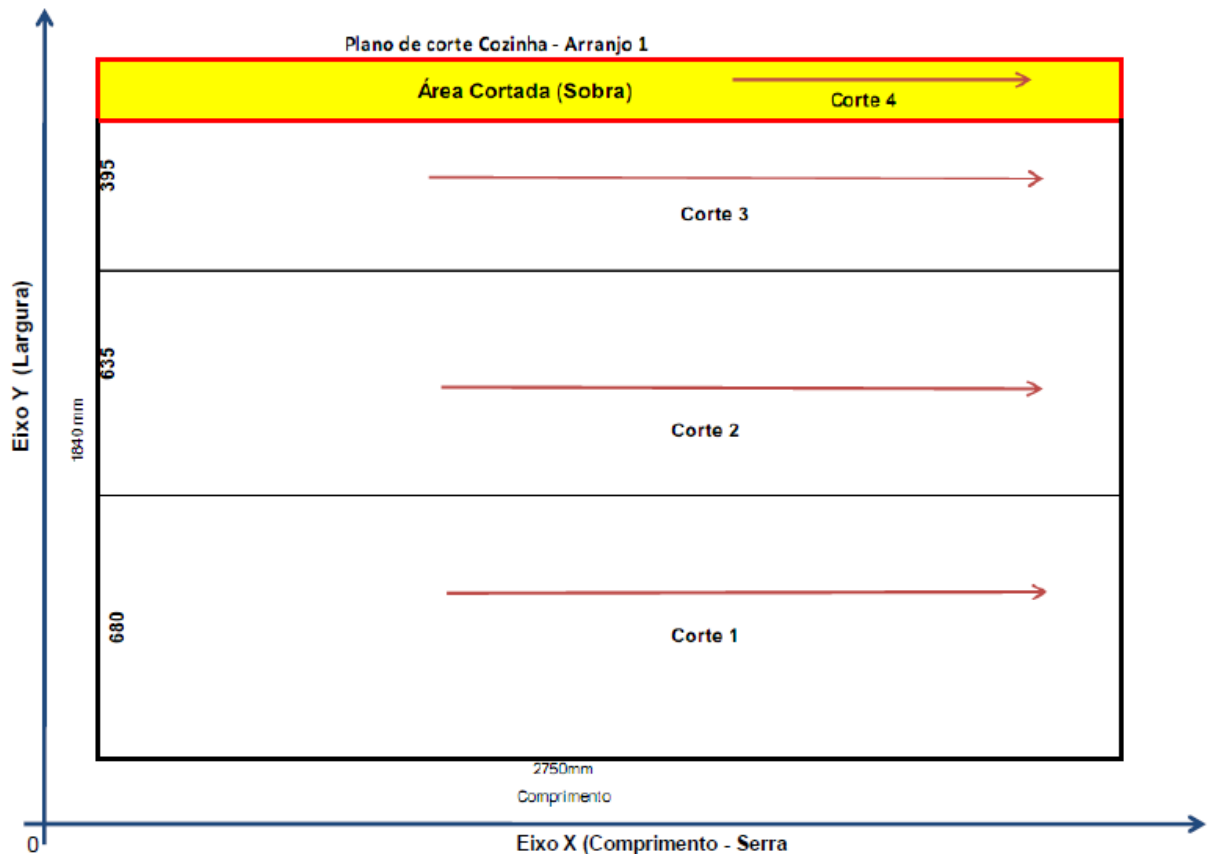


Figura 33 – Áreas de corte longitudinal para o arranjo 1 do projeto cozinha

Com o desconto da espessura da serra em 5mm, percebe-se que a primeira chapa possui três cortes longitudinais distribuídos em seu comprimento. Com isso, o corte 1 segue com a distribuição de suas peças conforme ilustra a figura 34.

Também o corte 1 ilustra todas as peças contidas nessa tira, para isso, a tira do corte 2 deve ter um giro de 90° ou um tombamento da tira com relação à seccionadora, ou seja, um novo posicionamento sobre a mesa da máquina, sendo que essa tira, após cortada, terá todas as suas peças desmembradas. Essa tarefa é realizada de forma manual pelo operador.

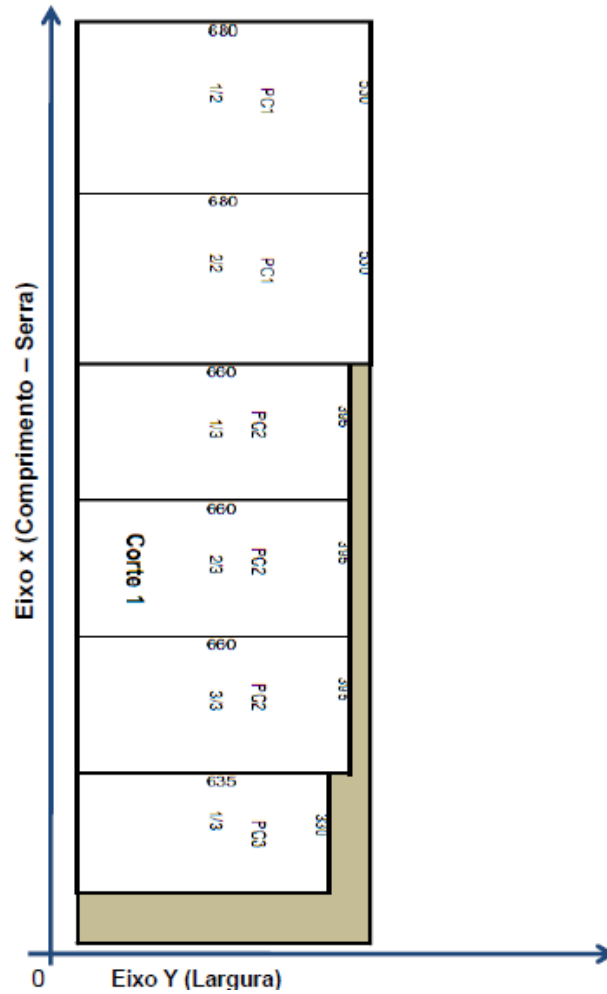


Figura 34 – Ilustração da tira do Corte 1

Como a primeira chapa possui outros cortes de tiras e peças que compõem o Arranjo 1 do projeto da cozinha, a figura 35 ilustra o restante dos cortes 2 e 3, que devem sofrer o mesmo procedimento que o corte 1, com um tombamento de 90° e corte longitudinal das peças.



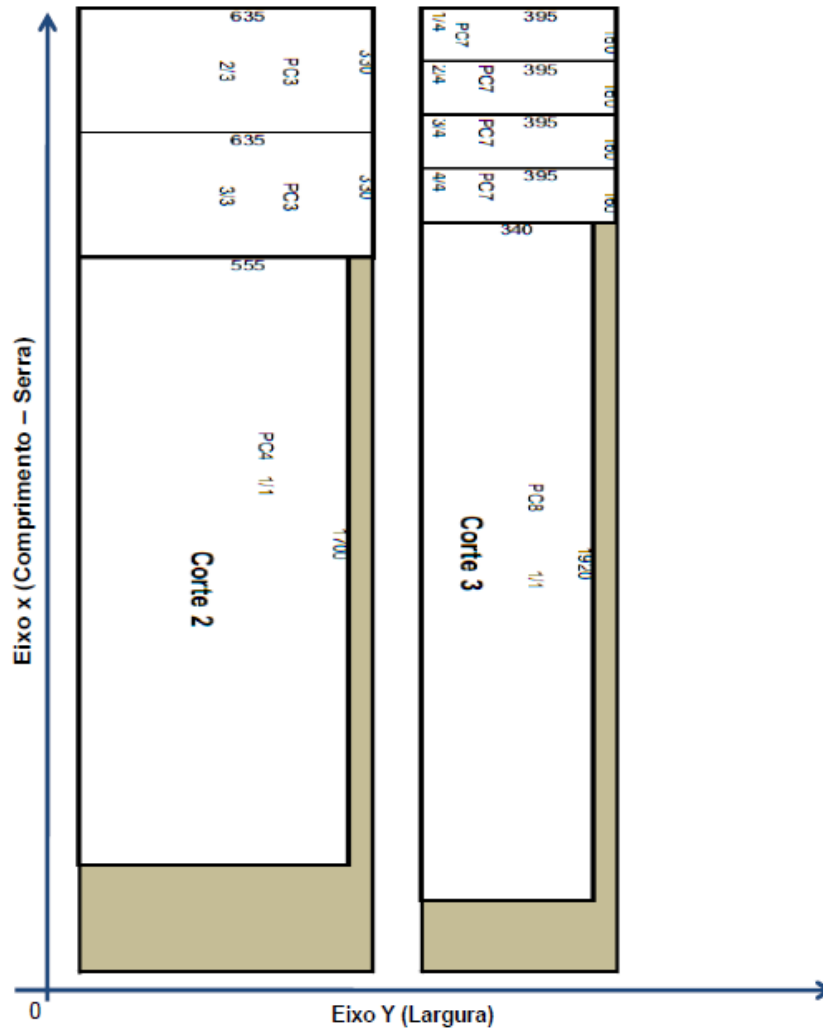


Figura 35 – Tombamento em 90° das tiras

No Arranjo 2 do projeto 1, inicia-se a chapa diretamente com o corte da largura da Peça PC5 (Lateral – Aéreo), com largura de 555mm. Nesta largura de tira, são também cortadas na sequência as peças PC6 (Tira Lateral Balcão) com largura de 530mm, inferior ao PC5. O corte de todas as tiras do Arranjo 2 é ilustrado na figura 36.

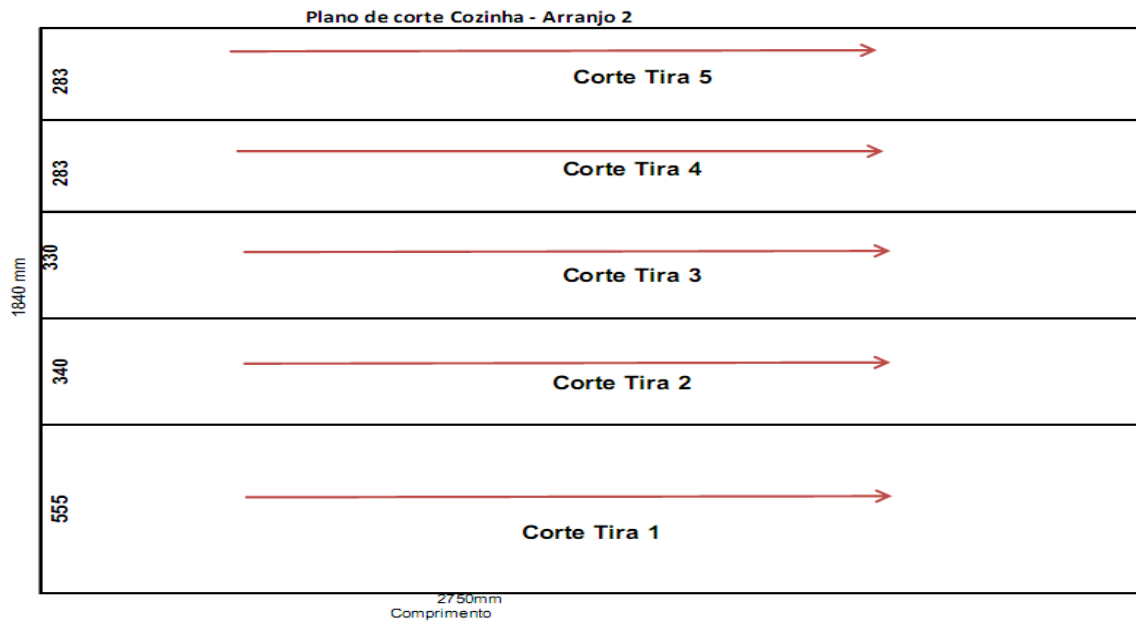


Figura 36 – Tiras do Corte Longitudinal no Arranjo 2

No Arranjo 2, as tiras 2, 3, e 4 devem sofrer um tombamento de  $90^\circ$ , como ilustra a figura 37. Com isso, o eixo X da seccionadora passa a cortar a largura de cada peça; porém ainda os cortes de tira 1, 2 e 3, especialmente o corte de tira 3, devem sofrer outro tombamento de  $90^\circ$ , pois as larguras são de valores diferentes e obrigam o arranjo da distribuição das peças a fazer mais um corte.

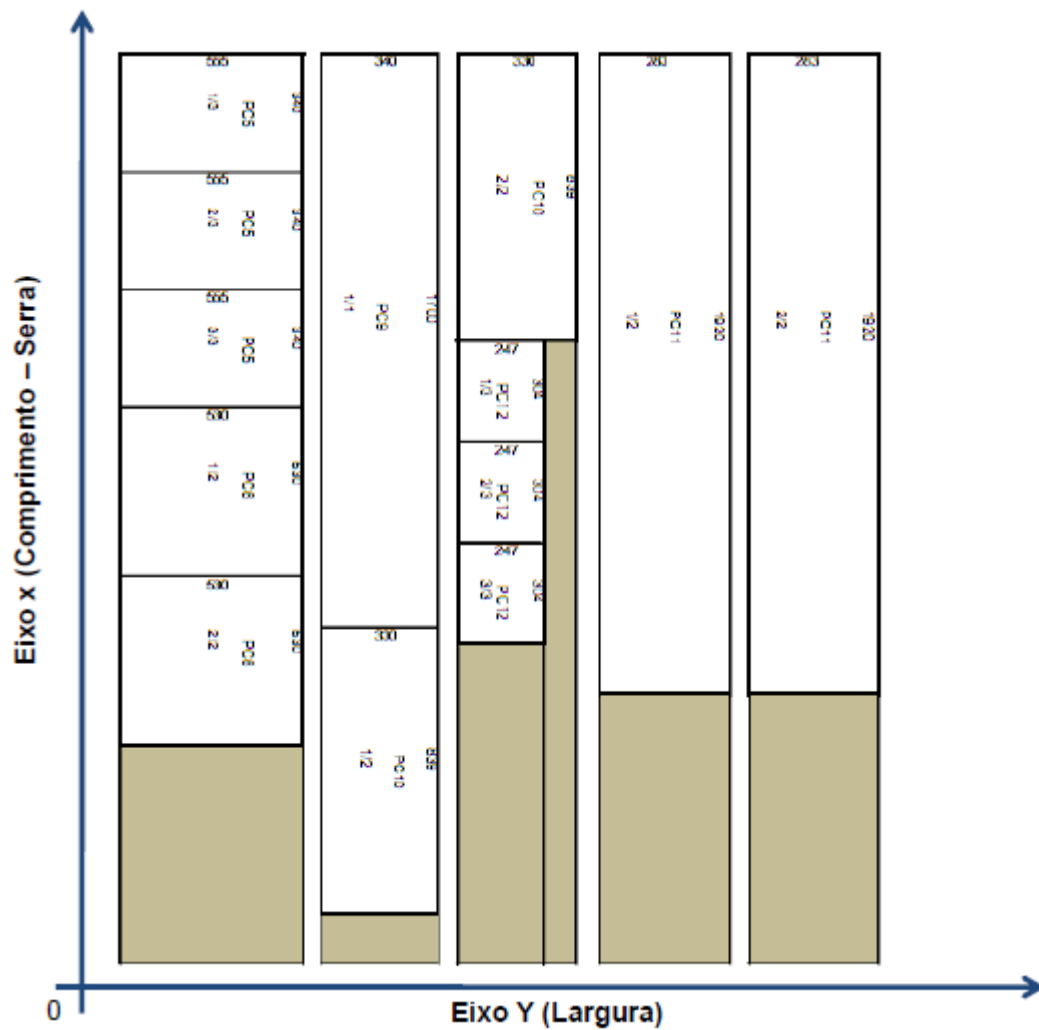


Figura 37 – Tombamento em 90° das tiras no Arranjo 2

Na programação do projeto cozinha, o aplicativo apresenta duas programações distintas, uma para cada chapa, arranjo 1 e arranjo 2, pois, para cada chapa, é necessária uma programação CN distinta. A programação parcial das chapas 1 e 2 pode ser visualizadas abaixo no quadro 3.

<b>Arranjo 1 - Cozinha</b>		<b>Arranjo 2 - Cozinha</b>	
M0(1840x2750)	M0(680x395)	M0(1840 x 2750)	M(2750X340)
G0Y680	G0Y 680	G0Y555	G0Y 1700
G1 (35) X 2850	G(35) x 495	G1(35) X 2850	G1(35) 440
G0Y1320	M0(680x330)	G0Y Y900	G0Y 2544
G1(35) X 2850	G0Y 635	G1(35) X 2850	G1(35) X 440
G0Y1720	G(35) x 430	G0Y1235	M0(340X839)
G1(35) X 2850	M0(2750x635)	G1(35) X 2850	G0Y 330
G1X2850	G0Y 330	G0Y1523	G1(35) X 939
M0(2750x680)	G(35) X 735	G1(35) X 2850	M0(2750X330)
G0Y 530	G0Y 665	G0Y1811	G0Y 839
G(35) x 780	G(35) X 735	G1(35) X 2850	G1(35) X 440
G0Y 1065	G0Y 2360	M0(2750x555)	G0Y 1091
G(35) x 780	G(35) X 735	G0Y 340	G1(35) X 440
G0Y 1460	M0(2750X395)	G1(35) X 655	G0Y 1400
G(35) x 780	G0Y 160	G0Y 685	G1(35) X 440
G0Y 1855	G(35) X 495	G1(35) X 655	G0Y 1709
G(35) x 780	G0Y 325	G0Y 1030	G1(35) X 440
G0Y 2250	G(35) X 495	G1(35) X 655	M0(330X304)
G(35) x 780	G0Y 490	G0Y 1565	G0Y 247
G0Y 2580	G(35) X 495	G1(35) X 655	G1(35) X 540
G(35) x 780	G0Y 655	G0Y 2100	M0(330X304)
M0(680x395)	G(35) X 495	G1(35) X 655	G0Y 247
G0Y 680	G0Y 2580	M0(555X530)	G1(35) X 540
G(35) x 495	G(35) X 495	G0Y 530	M0(330X304)
M0(680x395)	M0(395X1920)	G1(35) X 630	G0Y 247
G0Y 680	G0Y 340	G0Y 530	G1(35) X 540
G(35) x 495	G(35) X 2020	G1(35) X 630	M(2750X283)
	FIM		G0Y 1920
			G1(35) X 383
			M(2750X283)
			G0Y 1920
			G1(35) X 383
			FIM

QUADRO 3 – Programa CN – Arranjo 1 e 2 (Cozinha)

#### 4.2. Utilização do aplicativo CAD no Projeto 2

Os dados de projeto do Projeto 2, de acordo com a tabela 4, foram coletados conforme o projeto quarto ilustrado na figura 26. Esse projeto é composto por nove itens e vinte e seis peças, conforme a informação da tabela 4, e esses dados dimensionais são utilizados para disponibilizar geometricamente as peças dentro da chapa. Para o projeto 2 são necessários quatro arranjos para a produção de todo esse projeto.

Segue, logo abaixo na figura 38, o arranjo geométrico do plano de corte do Projeto 2. Nesta figura, estão ilustrados os arranjos 1 e 2 do projeto 2 (quarto).

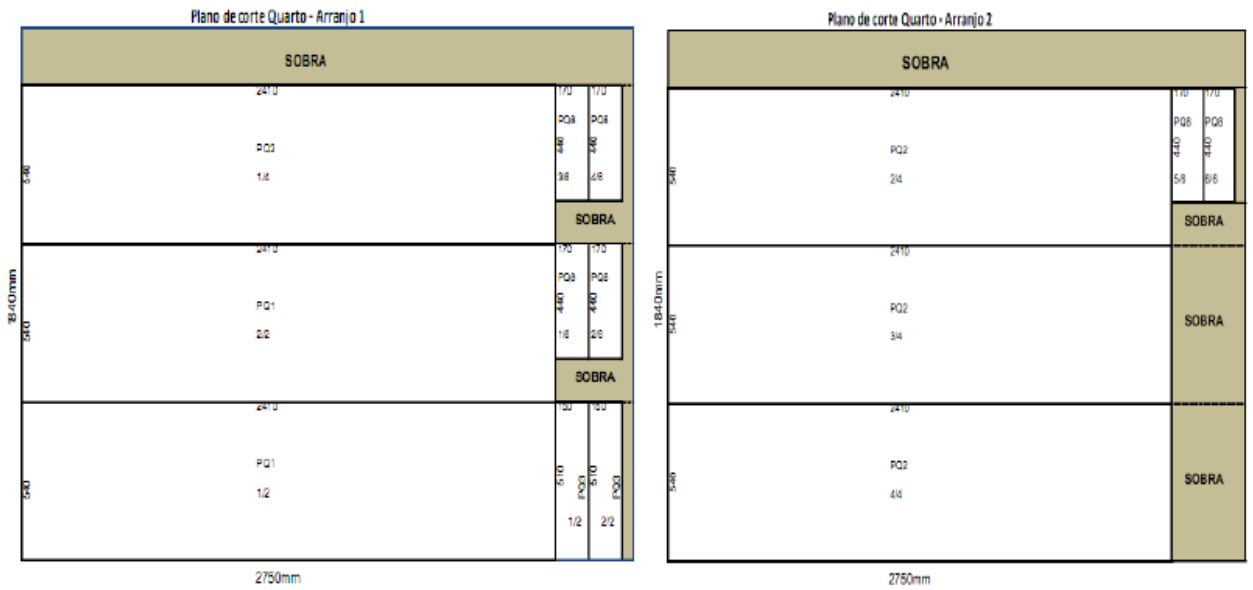


Figura 38 – Arranjo 1 e 2 do projeto 2 (quarto)

Na sequência, a figura 39 ilustra como seria a distribuição do arranjo geométrico 3 e 4.

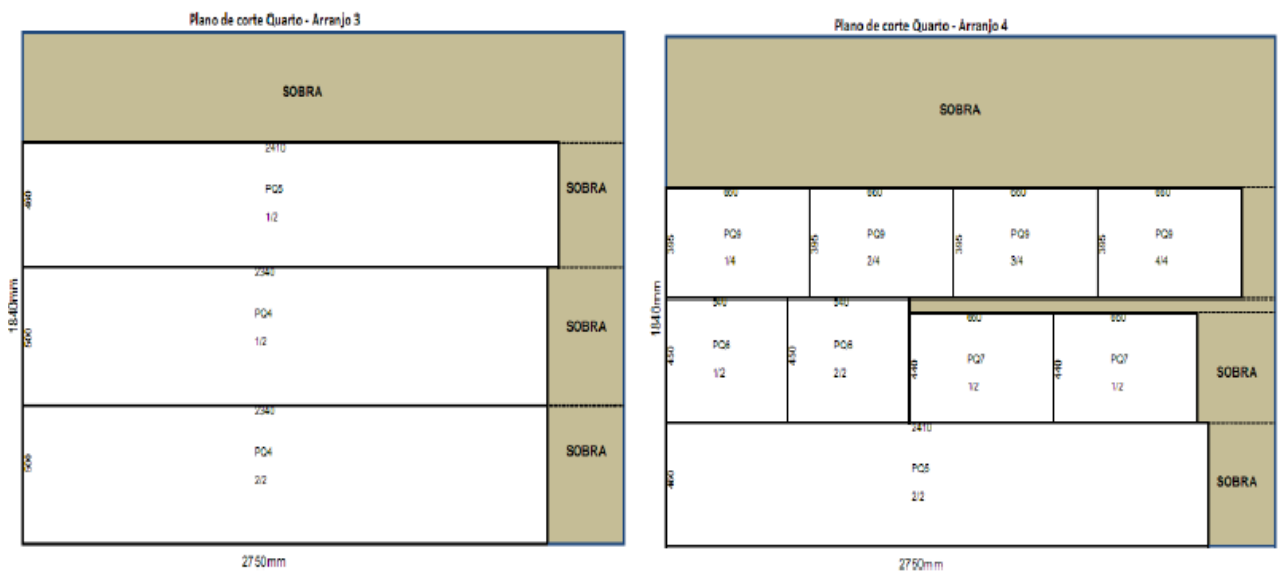


Figura 39 – Arranjo 3 e 4 do projeto 2 (quarto)

Conforme informação coletada na tabela 4 do projeto 2, os desenhos de todas as peças podem ser distribuídos nas quatro chapas.

Somando-se as áreas individuais das peças do projeto 2, totaliza-se uma área de 15.077.000mm<sup>2</sup>. A área da chapa utilizada possui 5.060.000mm<sup>2</sup>, por isso são necessárias quatro chapas, formando quatro arranjos de distribuição do projeto,

ou seja, um total de 20.240.000mm<sup>2</sup>. Neste caso, o projeto 2 pode alcançar um aproveitamento de 74,49% de área ocupada nesse projeto.

#### 4.2.1. Geração do programa CN no método empírico para o projeto 2

Para que o aplicativo CAD possibilite gerar o arquivo CN, é necessário separar quatro chapas de tamanho comercial (1840x2750mm), pois nesse projeto serão utilizados quatro arranjos ou quatro programas. A sequência de tiras criadas no arranjo geométrico são ilustradas na figura 40 para o arranjo 1 e 2.

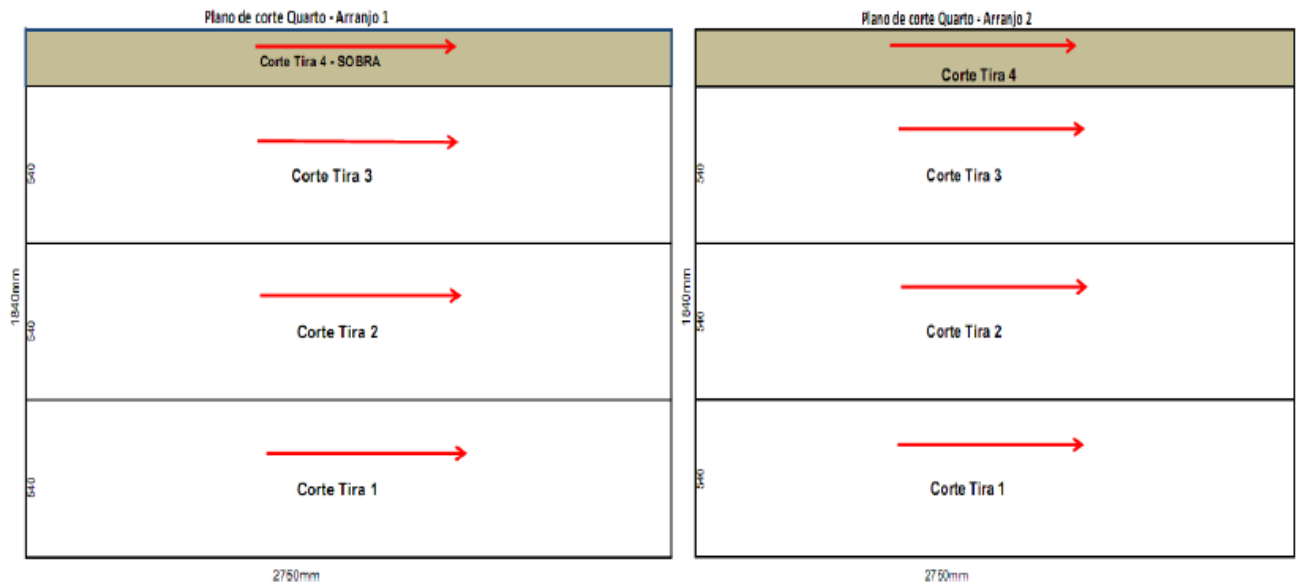


Figura 40 – Sequência de Corte no Arranjo 1 e 2

Já na figura 41, há a ilustração da sequência de corte dos arranjos 3 e 4.

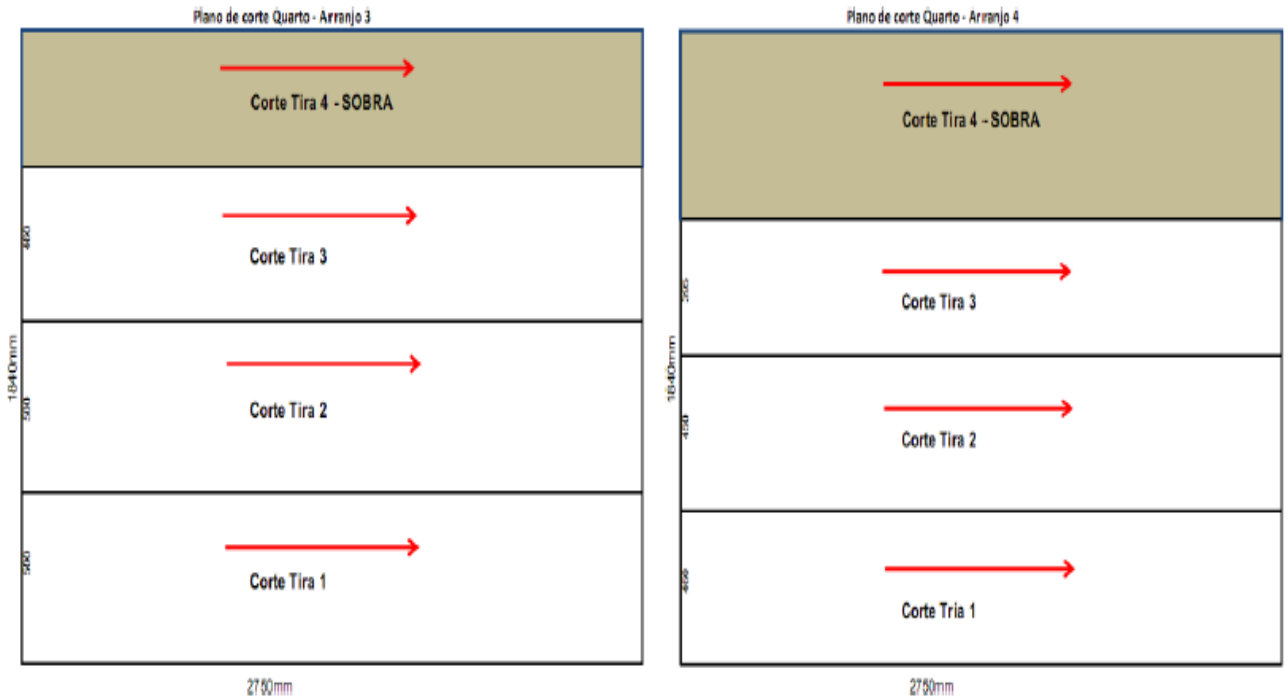


Figura 41 – Sequência de Corte Arranjo 3 e 4

Como ilustrado e comentado no projeto 1, as tiras que originam os cortes das peças devem sofrer um tombamento de  $90^\circ$  para o seu corte linear. No caso do projeto 2, esses arranjos demonstram que as peças estão muito bem distribuídas em toda a sua chapa. No projeto 2, apenas os arranjos 1, 2 e 4 sofrerão mais que um tombamento de  $90^\circ$ , enquanto que o arranjo 3 sofrerá apenas um tombamento devido ao tamanho das peças contidas na estrutura das chapas, como ilustra a figura 42, na qual esse arranjo apresenta quatro tiras e com apenas três peças.

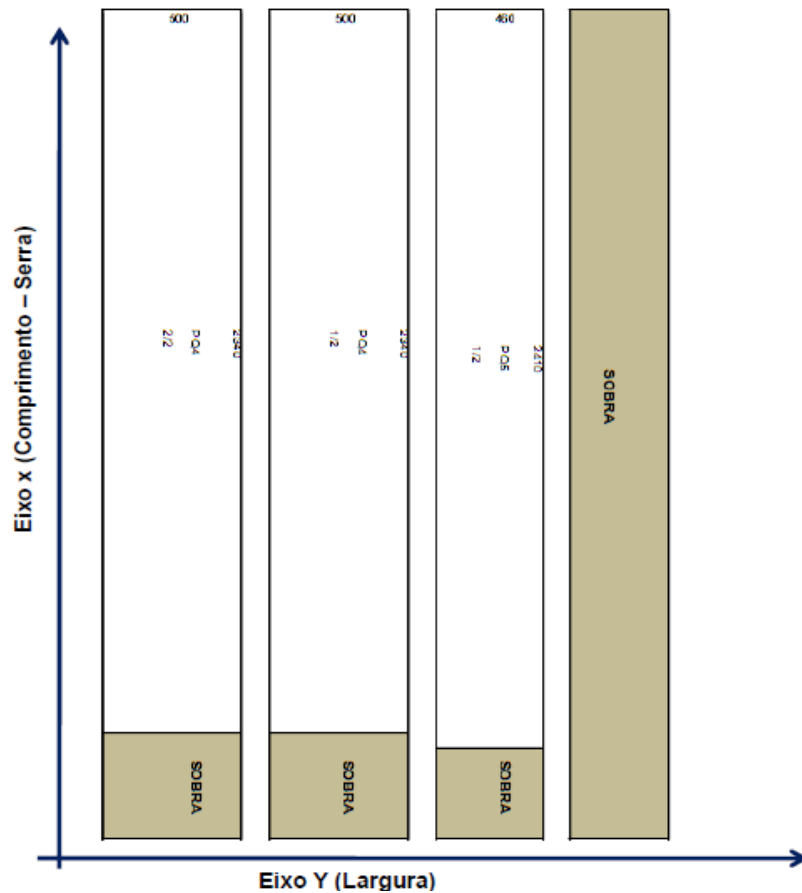


Figura 42 - Tombamento em 90° das tiras do Arranjo 3

Finalizando os dois projetos, o aplicativo CAD propõe a programação CN para máquina seccionadora. Na programação do quarto (projeto 2), o aplicativo apresenta três programações distintas, uma para cada chapa, arranjo 1, 2, 3 e 4, pois, para cada chapa, é necessária uma programação CN distinta. A programação parcial de ambas as chapas pode ser visualizadas abaixo. A programação completa do arranjo 1 e 2 encontra-se no quadro 4.



<u>Arranjo 1 - Quarto</u>		<u>Arranjo 2 - Quarto</u>	
M0(1840x2750)	G0Y 2585	M0(1840x2750)	M0(2750X 540)
G0Y 540	G1(35) X 640	G0Y 540	G0Y 2410
G1(35) X 2850	G0Y 2760	G1(35) X 2850	G1(35) X 640
G0Y 1085	G1(35) X 640	G0Y 1085	G0Y 2585
G1(35) X 2850	M0(540X170)	G1(35) X 2850	G1(35) X 640
G0Y 1630	G0Y 440	G0Y 1630	G0Y 2760
G1(35) X 2850	G1(35) X 270	G1(35) X 2850	G1(35) X 640
M0(2750X 540)	M0(540X170)	M0(2750X 540)	M0(540X170)
G0Y 2410	G0Y 440	G0Y 2410	G0Y 440
G1(35) X 640	G1(35) X 270	G1(35) X 640	G1(35) X 270
G0Y 2565	M0(2750X540)	M0(2750X 540)	M0(540X170)
G1(35) X 640	G0Y 2410	G0Y 2410	G0Y 440
G0Y 2750	G1(35) X 640	G1(35) X 640	G1(35) X 270
G1(35) X 640	G0Y 2585		FIM
M0(540X150)	G1(35) X 640		
G0Y 510	G0Y 2760		
G1(35) X 250	G1(35) X 640		
M0(540X150)	M0(540X170)		
G0Y 510	G0Y 440		
G1(35) X 250	G1(35) X 270		
M0(2750X540)	M0(540X170)		
G0Y 2410	G0Y 440		
G1(35) X 640	G1(35) X 270		
	FIM		

QUADRO 4 – Programa CN – Arranjo 1 e 2 (Quarto)

No quadro 5, segue a programação CN dos arranjos 3 e 4 do projeto cozinha.

<u>Arranjo 3 - Quarto</u>	<u>Arranjo 4 - Quarto</u>	
M0(1840x2750)	M0(1840x2750)	M0(2750X395)
G0Y 500	G0Y 460	G0Y 660
G1(35) X 2850	G1(35) X 2850	G1(35) X 495
G0Y 1005	G0Y 915	G0Y 1325
G1(35) X 2850	G1(35) X 2850	G1(35) X 495
G0Y 1470	G0Y 1315	G0Y 1990
G1(35) X 2850	G1(35) X 2850	G1(35) X 495
M0(2750X500)	M0(2750X460)	G0Y 2655
G0Y 2340	G0Y 2410	G1(35) X 495
G1(35) X 600	G1(35) X 560	FIM
M0(2750X500)	M0(2750X450)	
G0Y 2340	G0Y 540	
G1(35) X 600	G1(35) X 550	
M0(2750X460)	G0Y 1085	
G0Y 2410	G1(35) X 550	
G1(35) X 560	G0Y 1750	
FIM	G1(35) X 550	
	G0Y 2415	
	G1(35) X 550	

QUADRO 5 - Programa CN – Arranjo 3 e 4 (Quarto)

### **4.3. Aplicação dos dados de projeto no *software* Optimik**

Para fazer um comparativo de aproveitamento de área, foi realizado o mesmo plano de corte do projeto 1 e 2, através do *software* Optimik. Nesse primeiro comparativo, é feita a geração da distribuição geométrica do projeto, posteriormente gerado o código texto do projeto para o programação CN e verificado a sua área de aproveitamento comparando com o método empírico proposto.

#### **4.3.1. Utilização do *Software* Optimik no projeto 1**

A utilização do *software* Optimik para um projeto requer o uso de um arranjo. Segue abaixo a figura 43 do Arranjo do *software* Optimik com o Projeto 1.

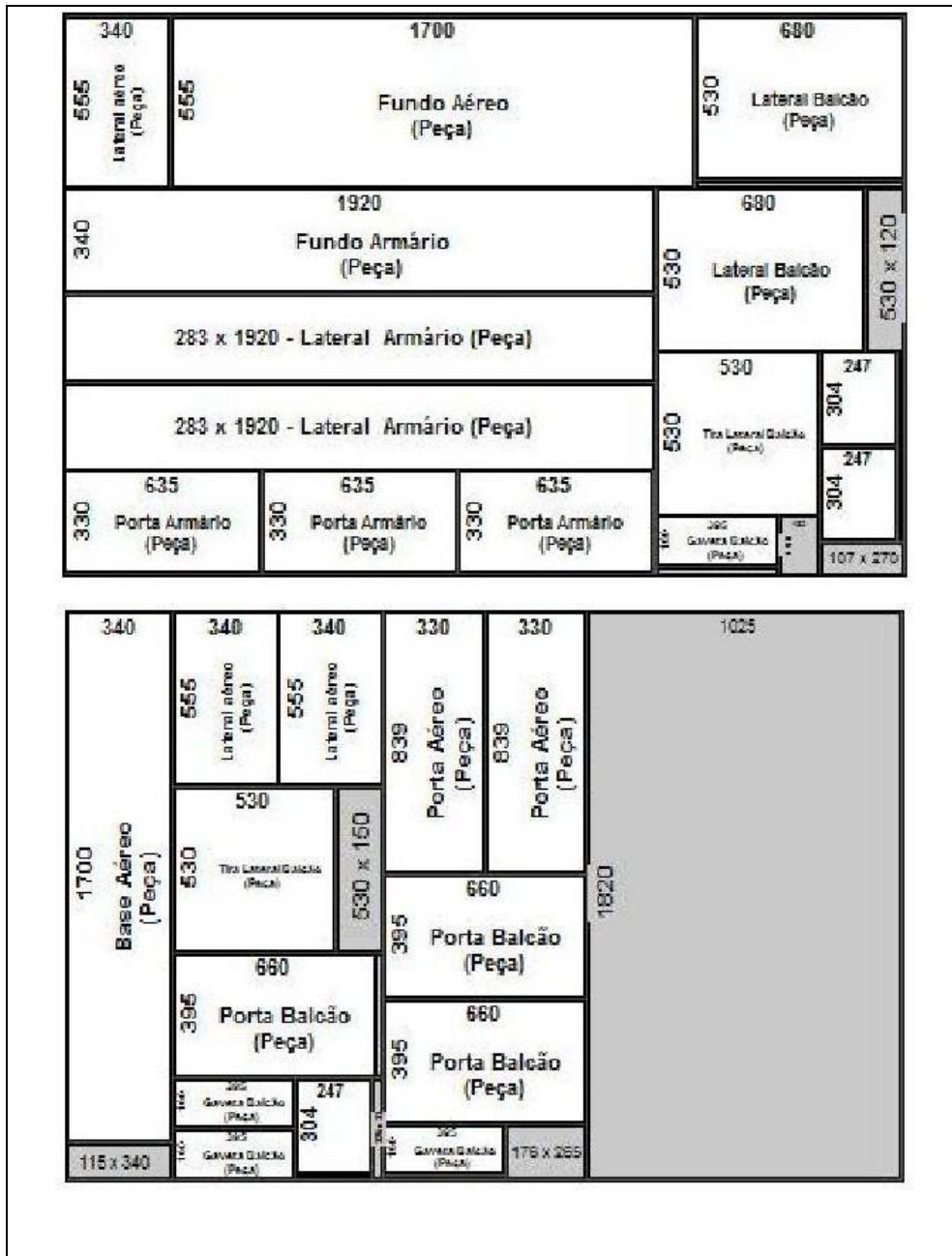


Figura 43 – Arranjo do *software* Optimik com o projeto 1 (cozinha)

Na disposição geométrica do *software*, percebe-se que a mesma quantidade de chapas utilizadas no método empírico é igual na aplicação do Optimik.

Para todos os projetos, *software* Optimik gera um documento chamado de “Estatísticas de planos de corte”. Este documento está ilustrado no Anexo A do trabalho com as informações de corte para área de produção. O mesmo documento não é um roteiro de fabricação com a sequência de corte, mas descreve todas as peças existentes no projeto juntamente com a sua sobra e quantidade de arranjos.

Na sequência, o software Optimik gera para o projeto 1 o programa CN para uma máquina seccionadora adaptada ou CNC. A lógica da programação, foi ilustrada na metodologia do trabalho como é a sequência de corte de uma determinada chapa.

Para o projeto 1, o primeiro arranjo forma duas tiras na chapa, utilizando todo o comprimento linear formando diversas tiras com suas respectivas peças. No exemplo da figura 44, percebe que o comprimento da chapa não possui nenhuma linha que possa cortar todo o seu comprimento, com isso, a chapa sofre um tombamento de 90° para ser cortada e encontra uma largura de corte de 555mm.

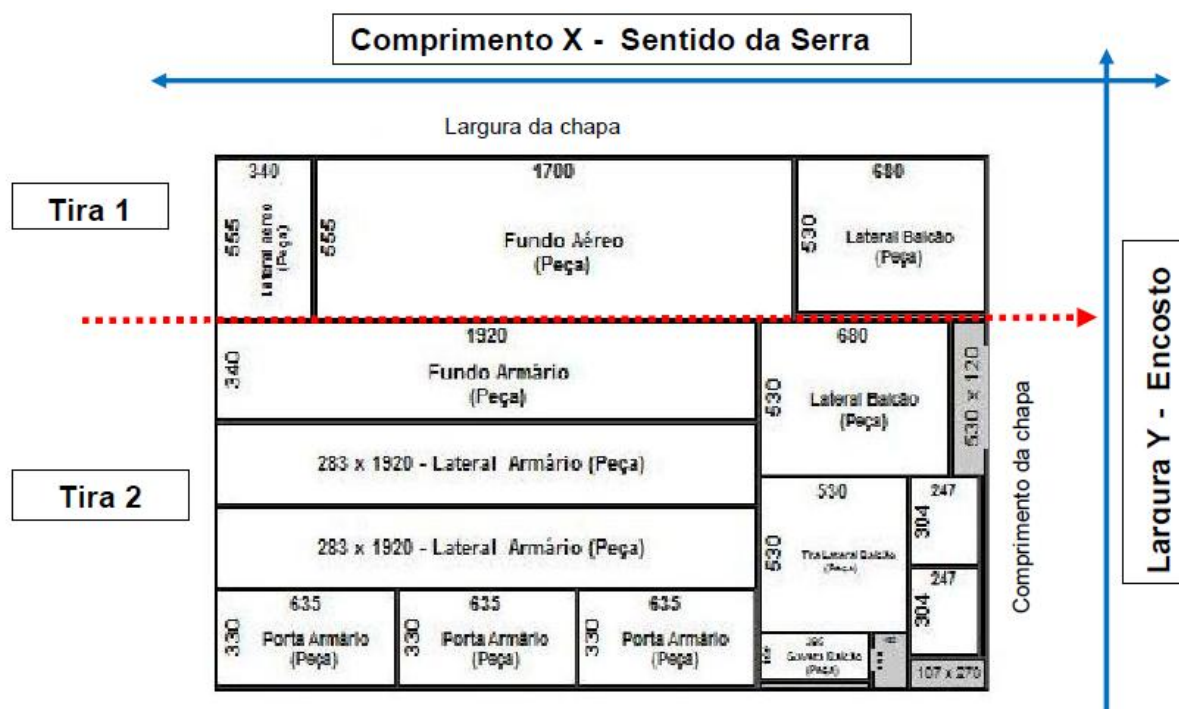


Figura 44 – Ilustração da formação das tiras.

Nesta situação sucessivamente, o programa separa as tiras geradas e começa a desmembrá-las até chegar as peças finais, no exemplo anterior da figura 44, foram gerados a tira 1 e tira 2, mas a tira 1 é a primeira tira que deverá ser desmembrada.

Na sequência, o programa CN começa a desmembrar cada tira e gerar as finais contidas no arranjo, mas para isso é necessário primeiro extrair todas as peças contidas em uma única tira, neste caso, todas as tiras para o projeto irão sofrer um tombamento como ilustra a figura 45.

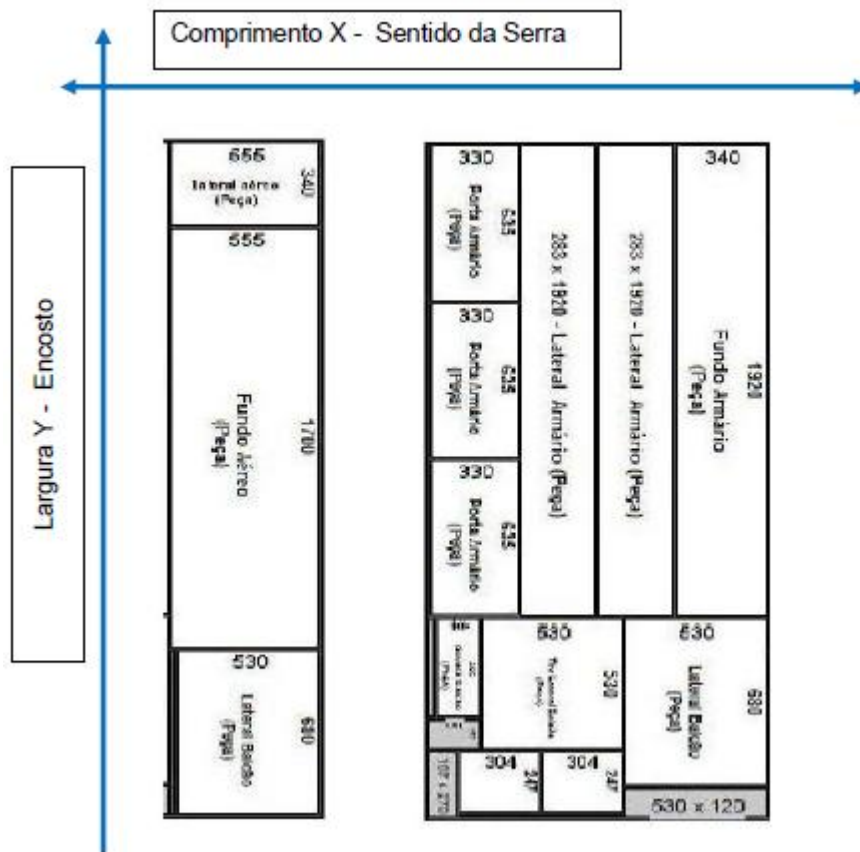


Figura 45 – Tombamento em 90° das tiras no Arranjo 1

Segue abaixo na figura 46 a programação CN proposta através dos arranjos de *softwares* comerciais.

<u>Arranjo 1 Cozinha</u>	
M0(1840x2750)	M0(530X225)
G0Y555 TIRA 1	G0Y 395 TIRA 2
G1(35) X 2850 TIRA 1	G1(35) X 325 TIRA 2
M0(2750x555)	M0(225X395)
G0Y340 TIRA 1	G0Y 160 TIRA 2
G1(35) X 655 TIRA 1	G1(35) X 495 TIRA 2
G0Y 2045 TIRA 1	M0(270X755)
G1(35) X 655 TIRA 1	G0Y 247 TIRA 2
G0Y 2730 TIRA 1	G1(35) X 855 TIRA 2
G1(35) X 655 TIRA 1	M0(755X247)
M0(555x680)	G0Y 304 TIRA 2
G0Y535 TIRA 1	G1(35) X 347 TIRA 2
G1(35) X 780 TIRA 1	G0Y 613 TIRA 2
M0(2750 x 1280)	G1(35) X 347 TIRA 2
G0Y 680 TIRA 2	M0(1285x1920)
G1(35) X 1380 TIRA 2	G0Y 340 TIRA 2
M0(1285x830)	G1(35) X 2020 TIRA 2
G0Y 530 TIRA 2	G0Y 633 TIRA 2
G1(35) X 780 TIRA 2	G1(35) 2020 TIRA 2
M0(800X530)	G0Y 918 TIRA 2
G0Y 680 TIRA 2	G1(35) X 2020 TIRA 2
G1(35) X 630 TIRA 2	G0Y1253 TIRA 2
	G1(35) X 2020 TIRA 2
	Fim

Figura 46 – Programação CN Arranjo 1 – Projeto 1 (cozinha)

Para o arranjo 02, o *software* Optimik gera 3 tiras e mais a sobra conforme figura 47. Todas as tiras deve sofrer um tombamento de 90°. Com isso, o eixo X da seccionadora passa a cortar a largura de cada peça. Com exceção da tira 2 e tira 3, essas de tiras, devem sofrer outro tombamento de 90°, pois ambas as tiras não conseguem desmembrar as peças finais se não houver esse processo.

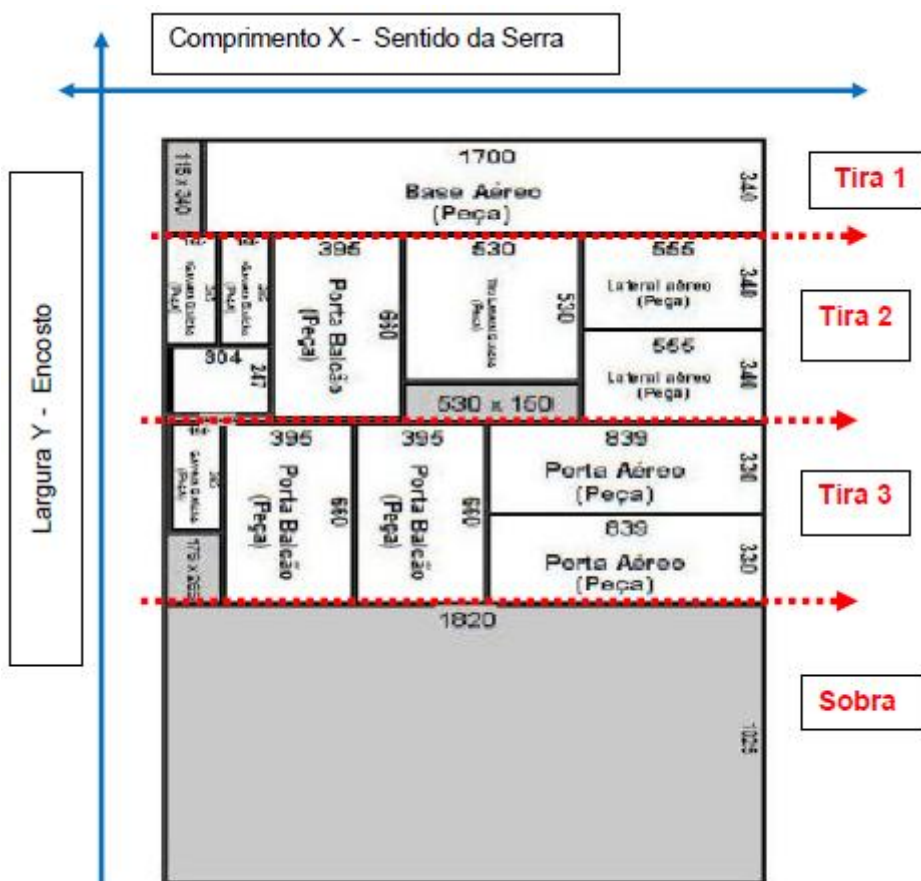


Figura 47 – Arranjo 2 do *software* Optimik do projeto 1 (Cozinha)

Com a programação feita pelo Optimik do projeto cozinha, o *software* apresenta duas programações distintas, uma para cada chapa, arranjo 1 e arranjo 2, já que cada chapa, é programação CN distinta. A programação CN do arranjo 2 pode ser visualizado na figura 48.

<u>Arranjo 2 - Cozinha</u>	
M0(2750X1840)	
G0Y 340 TIRA 1	
G1(35) X 1940 TIRA 1	
G0Y 1030 TIRA 2	
G1(35) X 1940 TIRA 2	
G0Y 1700 TIRA 3	
G0Y(35) X 1940 TIRA 3	
M0(1840X340)	
G0Y 1700 TIRA 1	
G1(35) X 440 TIRA 1	
M0(1840X685)	
G0Y 555 TIRA 2	
G1(35) X 780 TIRA 2	
G0Y 1090 TIRA 2	
G1(35) X 780 TIRA 2	
G0Y 1490 TIRA 2	
G1(35) X 780 TIRA 2	
G0Y 1815 TIRA 2	
M0(685X555)	
G0Y 340 TIRA 2	
G1(35) X 655 TIRA 2	
M0(685X530)	
G0Y 530 TIRA 2	
G1(35) X 630 TIRA 2	
M0(685X395)	
G0Y 660 TIRA 2	
G1(35) X 495 TIRA 2	
M0(685X325)	
G0Y 160 TIRA 2	
G1(35) X 425 TIRA 2	
G0Y 325 TIRA 2	
G1(35) X 425	
	M0(330X290)
	G0Y 304 TIRA 2
	G1(35) X 390 TIRA 2
	M0(290X304)
	G0Y 247 TIRA 2
	G1(35) X 404 TIRA 2
	M0(1840X665)
	G0Y 839 TIRA 3
	G1(35) X 765 TIRA 3
	G0Y 1239 TIRA 3
	G1(35) X 765 TIRA 3
	G0Y 1639 TIRA 3
	G1(35) X 765 TIRA 3
	G0Y 1804 TIRA 3
	G1(35) X 765 TIRA 3
	M0(665X839)
	G0Y 330 TIRA 3
	G1(35) X 939 TIRA 3
	M0(665X395)
	G0Y 660 TIRA 3
	G1(35) X 495 TIRA 3
	M0(665X395)
	G0Y 660 TIRA 3
	G1(35) X 495 TIRA 3
	M0(665X160)
	G0Y 395 TIRA 3
	G1(35) X 260 TIRA 3
	FIM

Figura 48 - Programação CN do arranjo 2 – Projeto Cozinha

Por fim, a soma das áreas individuais de todas as peças necessárias para o projeto cozinha, totaliza uma área de 7.902.959mm<sup>2</sup>. A área da chapa é de 5.060.000mm<sup>2</sup>, sendo então necessários dois arranjos de distribuição do projeto, ou seja, um total de 10.120.000mm<sup>2</sup>. Neste caso, o projeto 1 com a utilização do *software* Optmik, teve um aproveitamento de 78,09% de área ocupada.



#### 4.3.2. Utilização do software Optimik com o Projeto 2

Na elaboração do projeto 2, o software Optimik gerou quatro arranjos, a mesma quantidade de arranjo encontrada no método empírico. A figura 49 ilustra os arranjos 1 e 2 do projeto 2 (quarto).

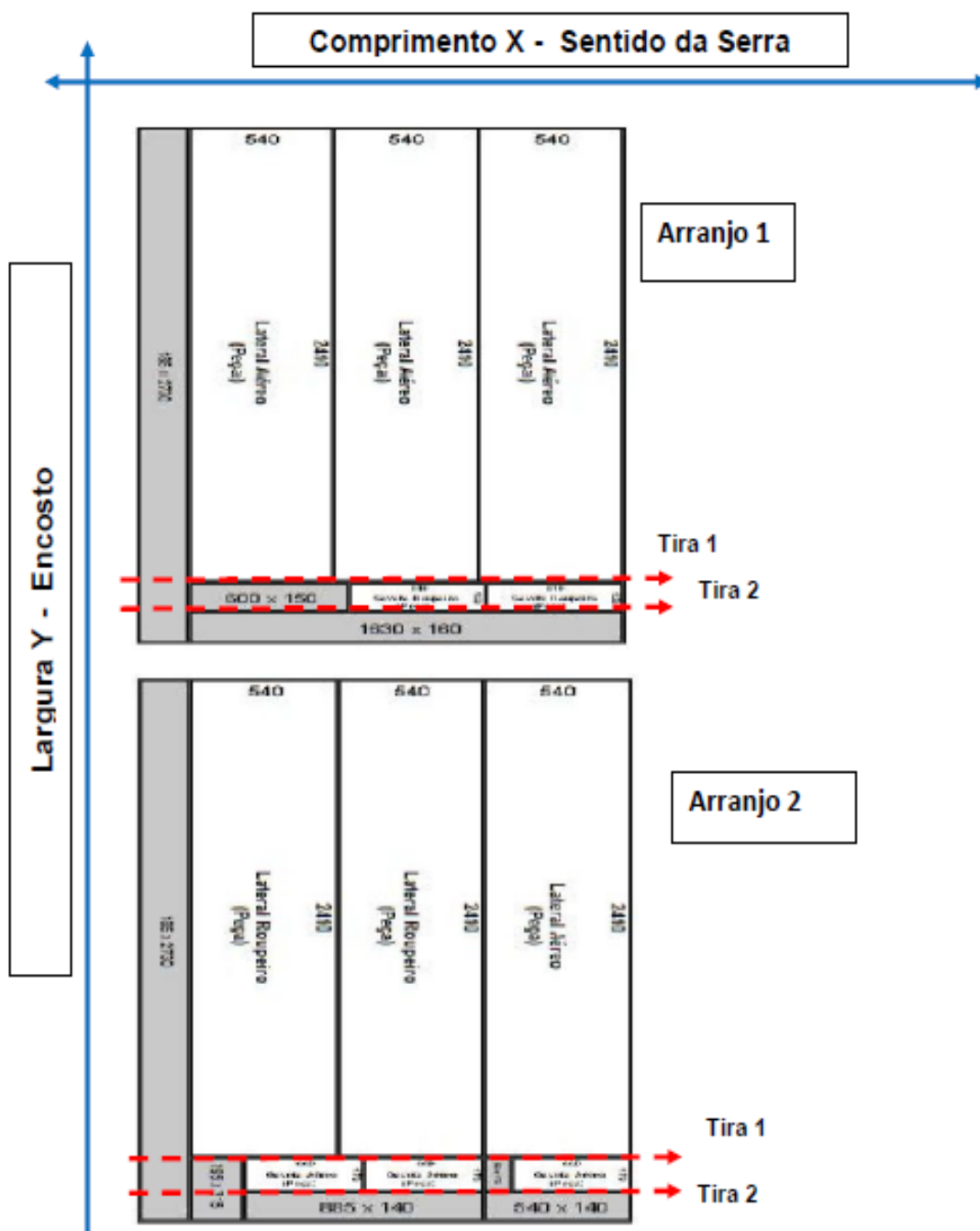


Figura 49 – Arranjo 1 e 2 do software Optimik do Projeto 2 (quarto)

Na sequencia, segue a figura 50 com a programação CN das chapas 1 e 2 do projeto quarto obtidos pela geração do arranjo do Optimik.

<u>Arranjo 1 Quarto</u>	<u>Arranjo 2 Quarto</u>
M0(2750X1840)	M0(2750X1840)
G0Y 2410 TIRA 1	G0Y 2410 TIRA 1
G1(35) X 1940 TIRA 1	G1(35) X 1940 TIRA 1
G0Y 2565 TIRA 2	G0Y 2585 TIRA 2
G1(35) X 1940 TIRA 2	G1(35) X 1940 TIRA 2
M0(1840X2410)	M0(1840X2410)
G0Y 540 TIRA 1	G0Y 540 TIRA 1
G1(35) X 2510 TIRA 1	G1(35) X 2510 TIRA 1
G0Y 1085 TIRA 1	G0Y 1085 TIRA 1
G1(35) X 2510 TIRA 1	G1(35) X 2510 TIRA 1
G0Y 1630 TIRA 1	G0Y 1630 TIRA 1
G1(35) X 2510 TIRA 1	G1(35) X 2510 TIRA 1
M0(1840X150)	M0(1840X170)
G0Y 510 TIRA 2	G0Y 440 TIRA 2
G1(35) X 250 TIRA 2	G1(35) X 270 TIRA 2
G0Y 1025 TIRA 2	G0Y 885 TIRA 2
G1(35) X 250 TIRA 2	G1(35) X 270 TIRA 2
FIM	G0Y 1330 TIRA 2
	G1(35) X 270 TIRA 2
	FIM

Figura 50 – Programação CN do arranjo 1 e 2 – Projeto 2 (quarto)

Na figura 51, segue o Arranjo 3 e 4 do projeto 2 (quarto) gerado pelo *software* Optimik contendo todas as tiras cortadas na disposição da chapa na seccionadora. No arranjo 3 são geradas 2 tiras e no arranjo 4 são geradas 3 tiras.

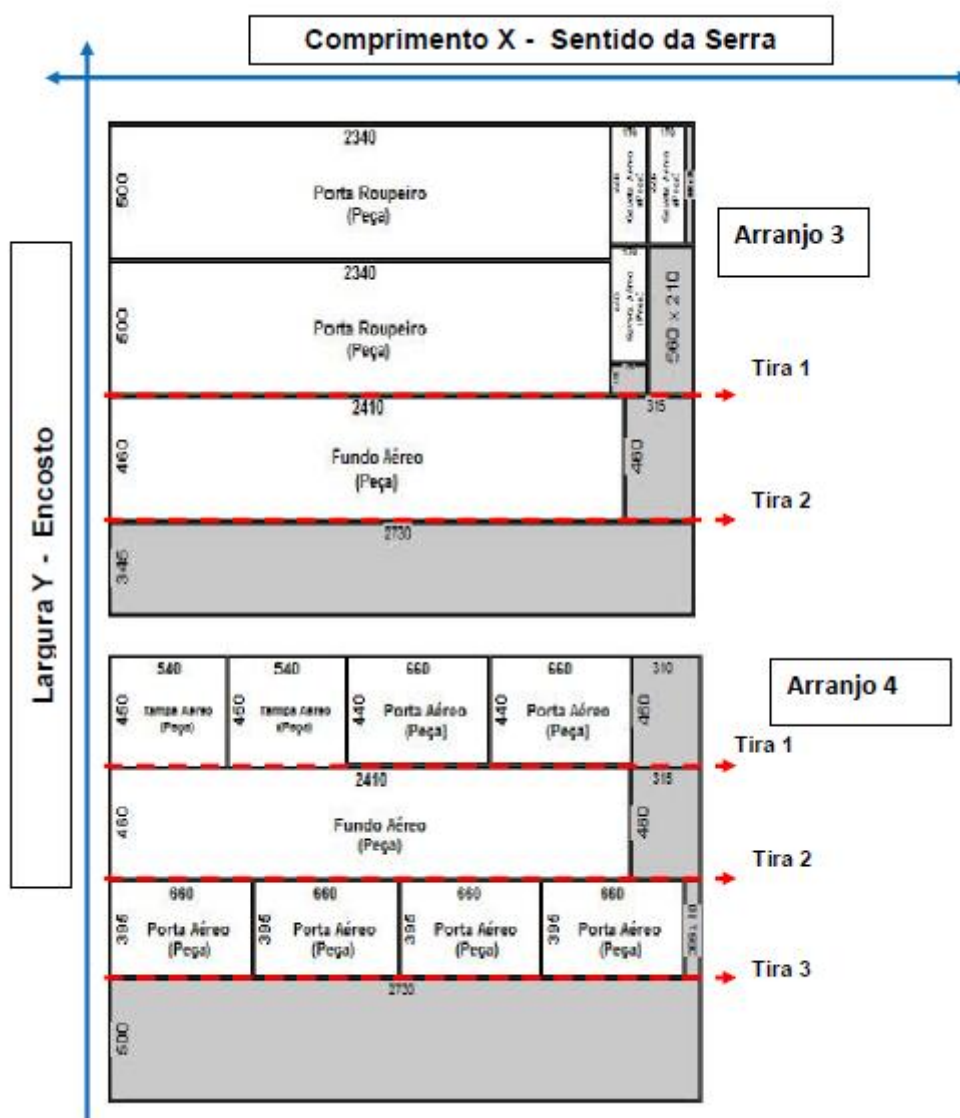


Figura 51 - Arranjo 3 e 4 do *software* Optimik do Projeto 2 (quarto)

Segue a programação CN na figura 52 do arranjo 3 e 4 das peças geradas pelo *software* Optimik logo abaixo.

<u>Arranjo 3 Quarto</u>	<u>Arranjo 4 Quarto</u>
M0(1840X2750)	M0(1840X2750)
G0Y 1005 TIRA 1	G0Y 450 TIRA 1
G1(35) X 2850 TIRA 1	G1(35) X 2850 TIRA 1
G0Y 1470 TIRA 2	G0Y 915 TIRA 2
G1(35) X 2850 TIRA 2	G1(35) X 2850 TIRA 2
M0(2750X1005)	G0Y 1315 TIRA 3
G0Y 2345 TIRA 1	G1(35) X 2850 TIRA 3
G1(35) X 1105 TIRA 1	M0(2750X450)
G0Y 2520 TIRA 1	G0Y 540 TIRA 1
G1(35) X 1105 TIRA 1	G1(35) X 550 TIRA 1
G0Y 2695 TIRA 1	G0Y 1085 TIRA 1
G1(35) X 1105 TIRA 1	G1(35) X 550 TIRA 1
M0(1105X2340)	G0Y 1750 TIRA 1
G0Y 500 TIRA 1	G1(35) X 550 TIRA 1
G1(35) X 2440 TIRA 1	G0Y 2415 TIRA 1
M0(1005X170)	G1(35) X 550 TIRA 1
G0Y 440 TIRA 1	M0(450X660)
G1(35) X 270 TIRA 1	G0Y 440 TIRA 1
G0Y 885 TIRA 1	G1(35) X 760 TIRA 1
G1(35) X 270 TIRA 1	M0(450X660)
M0(1005X170)	G0Y 440 TIRA 1
G0Y 440 TIRA 1	G1(35) X 760 TIRA 1
G1(35) X 270 TIRA 1	M0(2750X460)
M0(2750X460)	G0Y 2410 TIRA 2
G0Y 2410 TIRA 2	G1(35) 560 TIRA 2
G1(35) X 560 TIRA 2	M0(2750X395)
FIM	G0Y 660 TIRA 3
	G1(35) X 495 TIRA 3
	G0Y 1325 TIRA 3
	G1(35) X 495 TIRA 3
	G0Y 1990 TIRA 3
	G1(35) X 495 TIRA 3
	G0Y 2655 TIRA 3
	G1(35) X 495 TIRA 3
	FIM

Figura 52 – Programação CN do arranjo 3 e 4 – Projeto 2 (quarto)

A programação CN desse projeto, além de possuir 04 arranjos, também utiliza a mesma lógica apresentada na Metodologia e também no projeto 1. Com a programação feita pelo Optimik do projeto quarto, o *software* apresenta quatro programações distintas, uma para cada chapa.

Para finalizar, o comparativo com método empírico com um programa CN do projeto 2 (quarto) do *software* Optimik. O mesmo gera um documento chamado de “Estatísticas de planos de corte” conforme ilustra o Anexo B. Nota-se que, tanto com

a utilização do *software* Optimik quanto do “método empírico”, foi identificada nos projetos 1 e 2 a mesma quantidade de arranjos. No projeto 1, da cozinha, foram usados dois arranjos; no projeto 2, quatro arranjos.

Com a utilização do *software* Optimik para o projeto 2, a soma das áreas individuais das peças totalizam-se uma área de 15.679.050mm<sup>2</sup>. A área da chapa utilizada possui 5.060.000mm<sup>2</sup>, por isso, são necessários quatro chapas, formando quatro arranjos de distribuição do projeto, ou seja, um total de 20.240.000mm<sup>2</sup>. Neste caso, o projeto 2 com a utilização do *software* Optimik, pode alcançar um aproveitamento de 77,47% de área ocupada.

## 5. CONCLUSÃO

De acordo com a metodologia proposta de analisar a viabilidade de conversão de máquinas seccionadoras convencionais em equipamentos CNC, pode-se concluir que:

1. É possível utilizar os recursos CAD para gerar o roteiro de fabricação de qualquer peça projetada para máquinas seccionadoras ao setor de produção;

2. Através da metodologia estudada, também é possível agrupar o projeto de acordo com o critério proposto de ordenação das peças, obedecendo sempre à maior largura, e nesse âmbito destaca-se o aplicativo CAD, que é fundamental para fazer essa função;

3. O aplicativo CAD é capaz de gerar os planos de corte com as distribuições geométricas das peças em uma chapa comercial, e esse plano de corte possibilita a ilustração e a disposição atual das peças unitárias nas chapas;

4. A proposta dessa metodologia sinaliza a possibilidade de gerar o código CN para máquina seccionadora convencional adaptada para CNC, e, nesse caso, o aplicativo CAD gera a linguagem CN para uma máquina seccionadora adaptada, e esta linguagem CN faz com que a programação para a máquina seccionadora fique pronta sem a interferência do operador;

5. Com o Aplicativo CAD, não há necessidade de um *software* específico para geração dos planos de corte e também a geração do código CN para máquina seccionadora adaptada, e essa é uma vantagem fundamental, pois diminui o custo de aquisição de uma seccionadora CNC para o segmento da indústria moveleira;

6. Esta proposta de metodologia pode ser aplicada em micro e pequenas empresas do setor moveleiro que não dispõe de recursos para gastos elevados com aquisição de máquina seccionadora CNC e também para aquisição de *softwares* para geração de Planos de Corte;

7. Num comparativo do método proposto (método manual) com o *software* Optmik, a quantidade de arranjos é a mesma, ou seja, o projeto 1 possui dois arranjos e o projeto 2 possui quatro arranjos, o que sinaliza que o método empírico proposto está muito próximo do *softwares* Optmik.

8. Comparando a área ocupada do projeto 1 com a utilização do método manual, o percentual da área ocupada é de 78,09%, já com a utilização do *software* Optmik o percentual foi de 74,62%, ou seja, uma diferença de 4,4%. Já no projeto 2, a utilização do método manual foi de 74,49%, mas com do *software* Optmik esse percentual vai para 77,47%, apenas uma diferença de 3,8%. Pode-se concluir que a utilização de um método empírico ainda não é viável devido às sobras geradas no plano de corte, o que pode ocasionar em grandes perdas se contabilizar num período maior de tempo 5%.

Acredita-se, enfim, que a proposição de uma metodologia para a conversão de máquinas seccionadoras convencionais em equipamentos CNC pode contribuir para o aprofundamento de estudos que possam auxiliar as micro e pequenas empresas a otimizar seus recursos produtivos. A aplicação da metodologia proposta neste trabalho pode ser fundamental para as empresas que estão iniciando no segmento moveleiro ou que dispõem de poucos recursos financeiros, mas que buscam qualidade em seus produtos e serviços.

## REFERÊNCIAS

ARTSOFT. Disponível em: <<http://www.machsupport.com/>>. Acesso em: 20 mar. 2012.

ABIMOVEL. Disponível em: <<http://www.abimovel.org.br/>>. Acesso em: 20 out. 2011.

AUDACES plano de corte sob medida. Disponível em: <<http://www.audaces.com/imprimir.php?pgn=27&lang=>>>. Acesso em: 20 jul. 2011.

BARBOSA, D. A.; DAMASCENO, M. D. S.; MOREIRA, A. P. Simulação de um retrofitting em um torno convencional. **IV Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte e Nordeste de Educação Tecnológica**. Belém, Pará, Brasil, 08 a 10 de novembro de 2009. Disponível em: <[http://connepi2009.ifpa.edu.br/connepi-anais/artigos/69\\_3691\\_1816.pdf](http://connepi2009.ifpa.edu.br/connepi-anais/artigos/69_3691_1816.pdf)>. Acesso em: 26 dez. 2011.

BRAND, F. C.; GERHARDT, M. P.; KLIEMANN NETO, F. J. Análise competitiva da cadeia moveleira de Bento Gonçalves. **XI SIMPEP**. Bauru, SP, Brasil, 08 a 10 de novembro de 2004.

COELHO, M. R. F.; BERGER, R. Competitividade das exportações brasileiras de móveis no mercado internacional: uma análise segundo a visão desempenho. **Revista FAE**, Curitiba, v.7, n.1, p.51-65, jan./jun. 2004.

COSTA, D. D. da; PEREIRA, A. G. Desenvolvimento e avaliação de uma tecnologia de baixo custo para programação CNC em pequenas empresas. **Produção**, v. 16, n. 1, p. 048-063, Jan./Abr. 2006.

CORTE certo. Software Corte Certo. Disponível em: <<http://www.cortecerto.com/portugues/visaogeral.htm>>. Acesso em: 05 out. 2011.

CUNHA, R. R. 2000. **Estudo e desenvolvimento de metodologias na troca de dados em CAD/CAM**. Monografia apresentada à disciplina Tópicos Especiais em Projeto de Sistemas Mecânicos no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 139f. 2000.

DAL BIANCO, C. M. 2010. **Aplicação da Meta-Heurística Grasp para o problema de corte de estoque bidimensão através de aplicativos CAD**. Dissertação. Programa de Pós Graduação em Engenharia da Produção da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 82f. 2010.

DAL PIVA, R. Processo de Fabricação dos móveis sob medida. Porto Alegre: SENAI-RS, 2006. 243 p. (Capacitação da Cadeia Produtiva da Madeira)



DYCKHOFF, H. A typology of cutting and packing problems. **European Journal Operacional Research**, n. 44, p. 145-159, 1990. Disponível em: <[www.elsevier.com/authoried\\_subject\\_sections/S03/.../EJOR\\_free13.pdf](http://www.elsevier.com/authoried_subject_sections/S03/.../EJOR_free13.pdf)>. Acesso em: 18 jul. 2011.

GHIDINI, C. T. L. S. 2008. **Otimização de processos acoplados**: programação da produção e corte de estoque. Tese. Programa de Pós-graduação do Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo – Campus de São Carlos, São Carlos. 151f. 2008.

MARCONDES, F. *Retrofitting* pode ser um bom negócio? **O Mundo da Usinagem**, São Paulo, Vera Natale, v.2, n. 44, p. 6-10, fev. 2008.

MENEGHELLO, G. P. 2003. **Aplicação de um sistema robótico utilizando sistemas CAD/CAM para o processo de fresamento**. Dissertação. Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 119f. 2003.

MORAES, V. T. F.; QUELHA, O. L. G. A metodologia do processo do *retrofitting* e os limites da intervenção. **VII Congresso Nacional de Excelência em Gestão**. Rio de Janeiro e Niterói, RJ, Brasil, 12 e 13 de agosto de 2011. Disponível em: <[http://www.excelenciaemgestao.org/Portals/2/documents/cneg7/anais/T11\\_0356\\_1498.pdf](http://www.excelenciaemgestao.org/Portals/2/documents/cneg7/anais/T11_0356_1498.pdf)>. Aceso em: 20 nov. 2011.

MOSQUERA, G. P. 2007. **Contribuições para o problema de corte de estoque bidimensão na indústria moveleira**. Dissertação. Programa de Pós-graduação em Matemática Aplicada. Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Campus de São José do Rio Preto. 146f. 2007.

NAKAMURA, T.E.; AUCAR JUNIOR, M. J.; ZANOLLI, J.; MACHADO, W. Utilização de ferramentas CAD/CAE/CAM no desenvolvimento de produtos eletroeletrônicos: vantagens e desafios. **T&C Amazônia**, n. 2, p. 39-43, jun. 2003. Disponível em: <[https://portal.fucapi.br/tec/imagens/revistas/ed02\\_06.pdf](https://portal.fucapi.br/tec/imagens/revistas/ed02_06.pdf)>. Acesso em: 02 out. 2011.

OPTIMIK. Software Optimik. Disponível em: <<http://www.optimik.com.br/intro.htm>>. Acesso em: 05 out. 2011.

PROMOB. Software Promob. Disponível em: <<http://www.promob.com/>>. Acesso em: 10 out. 2011.

SOUZA, A. F. de; COELHO, R. T. Tecnologia CAD/CAM: Definições e estado da arte visando auxiliar sua implantação em um ambiente fabril. **XXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção**. Ouro Preto, MG, Brasil, 21 a 24 out. 2003.

RANGEL, S.; FIGUEIREDO, A. G. de. O problema de corte de estoque em indústrias de móveis de pequeno e médio portes. **Pesquisa operacional**, n. 3, v. 28, p. 451-472, set./dez. 2008.

RUIZ, P. A. Seccionadora de última generación: el corte perfecto para los tableros de madera. Disponível em:< <http://www.revista-mm.com/ediciones/rev66/Seccionadoras.pdf>>. Acesso em: 20 nov. 2011.

SIMÕES, F. M. S. **Implementação de um Sistema CAD/CAM para Fresadora CNC a partir de Funções CAM Integradas no CAD**. Dissertação. Programa da pós-graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia. 110 p. 1999.

TEBIS. Otimize o seu processo CAD/CAM com software Tebis. Disponível em: <[http://www.tebis.com/cms/fileadmin/broschueren/pt\\_Tebis\\_ProductRange\\_061030.pdf](http://www.tebis.com/cms/fileadmin/broschueren/pt_Tebis_ProductRange_061030.pdf)>. Acesso em: 15 out. 2011.

**ANEXO A – Estatística do plano de corte projeto 1 - Cozinha**

[Cozinha (Jéferson)]

[Chapa Bp 2750 x 1840 18mm TX (chapa 18)]

A;3;2750;1840;1

B;555;1700;Peça;Fundo Aéreo;1

B;1920;340;Peça;Fundo Armário;1

B;1920;283;Peça;Lateral Armário;2

B;680;530;Peça; Lateral Balcão;2

B;247;304;Peça;Divisória Armário;2

B;395;160;Peça;Gaveta Balcão;1

B;555;340;Peça;Lateral aéreo;1

B;635;330;Peça;Porta Armário;3

B;530;530;Peça;Tira Lateral Balcão;1

C;3;18;613;1

C;3;120;530;1

C;3;130;190;1

C;3;270;107;1

C;3;395;25;1

C;3;680;20;1

C;3;1920;4;1

D;0,185175

A;3;2750;1840;2

B;340;1700;Peça;Base Aéreo;1

B;247;304;Peça;Divisória Armário;1

B;395;160;Peça;Gaveta Balcão;3

B;555;340;Peça;Lateral aéreo;2

B;330;839;Peça;Porta Aéreo;2

B;660;395;Peça;Porta Balcão;3

B;530;530;Peça;Tira Lateral Balcão;1

C;3;1025;1820;1

C;3;20;395;1

C;3;33;325;1

C;3;150;530;1

C;3;247;16;1

C;3;265;176;1

C;3;340;115;1

C;3;395;11;1

D;0,165510

**ANEXO B – Estatística do plano de corte projeto 2 - Quarto**

[Quarto (Jéferson)]

[Chapa Bp 2750 x 1840 18mm TX (chapa 18)]

A;3;2750;1840;1

B;2410;540;Peça;Lateral Aéreo;3

B;150;510;Peça;Gaveta Roupeiro;2

C;3;2730;185;1

C;3;150;600;1

C;3;160;1630;1

D;0,146950

A;3;2750;1840;2

B;2410;540;Peça;Lateral Aéreo;1

B;2410;540;Peça;Lateral Roupeiro;2

B;170;440;Peça;Gaveta Aéreo;3

C;3;2730;185;1

C;3;140;540;1

C;3;140;885;1

C;3;170;95;1

C;3;315;195;1

D;0,149275

A;3;2750;1840;3

B;2410;460;Peça;Fundo Aéreo;1

B;2340;500;Peça;Porta Roupeiro;2

B;170;440;Peça;Gaveta Aéreo;3

C;3;2730;345;1

C;3;35;440;1

C;3;170;115;1

C;3;210;560;1

C;3;315;460;1

D;0,147700

A;3;2750;1840;4

B;2410;460;Peça;Fundo Aéreo;1

B;660;440;Peça;Porta Aéreo;2

B;660;395;Peça;Porta Aéreo;4

B;540;450;Peça;Tampa Aéreo;2

C;3;2730;500;1

C;3;70;395;1

C;3;310;450;1

C;3;315;460;1

C;3;1325;5;1

D;0,158125