

03-012

STUDY, CONCEPTION AND DEVELOPMENT OF AN INDUSTRIAL EQUIPMENT FOR WOOD CUTTING

Dias, Emmanuel⁽¹⁾; Rodrigues De Seabra, Eurico Augusto⁽¹⁾

⁽¹⁾Universidade do Minho

This article describes the work developed for the study, conception and development of an industrial equipment for the wood processing, which is called “multiple cut discs with vertical tree”. In a first part, a large study is presented related with the wood types, their morphology and their main manners for cutting processing. Continuously, it is presented the development and conception of an idea that it allows the accomplishment of the cut function, where the whole project mechanic associated to the development of equipment’s is described. This equipment was developed with the intention of its operation to be intuitive and friendly for the user as well as to accomplish the tasks in an effective and profitable way. Due to the high human risks associated with the functioning, all of the functions and sub functions of the equipment were developed to minimize the actions of the operators. In way to conclude the theoretical approach of this work accomplished, at the end of the article, were depicts some considerations about the mechanical design realized, as well as, proposed another future works, with the intention of optimizing the conceptual design of the cutting wood equipment.

Keywords: Wood, Cutting; Mechanical Design; Safety; Reliable; Efficiency

ESTUDO, CONCEÇÃO E DESENVOLVIMENTO DE UM EQUIPAMENTO INDUSTRIAL DESTINADO AO CORTE DE MADEIRA

Este artigo descreve todo o trabalho desenvolvido no âmbito de estudo, conceção e desenvolvimento de um equipamento destinado ao processamento de madeira à qual se denomina de “Multi-serra de Disco com árvore vertical”. Numa primeira parte, é apresentado um estudo intensivo sobre os tipos de madeira existentes, respetiva morfologia e seus modos de processamento de corte. Seguidamente é apresentada, de forma detalhada, o desenvolvimento e conceção de um equipamento que permita a realização da função de corte, onde se descreve todo o projeto mecânico associado ao desenvolvimento de equipamentos no âmbito de Engenharia. Na ótica do funcionamento, este equipamento, foi desenvolvido com o intuito da sua operação ser intuitiva e amigável para o utilizador bem como realizar as tarefas de forma eficaz e rentável. Derivado do elevado risco no funcionamento do equipamento, todas as funções e subfunções adjacentes ao projeto foram desenvolvidas por forma a minimizar a ação dos operadores, minimizando assim os riscos associados. De forma a concluir a abordagem teórica deste trabalho, são realizadas no seu final, algumas considerações sobre o desenvolvimento deste, o seu estado atual, bem como, são apresentadas algumas propostas de trabalho futuro passível de realização, com o intuito de otimizar a ideia concetual obtida.

Palabras clave: Madeira; Corte; Projeto Mecânico; Segurança de Utilização; Fiabilidade; Eficiência

Correspondencia: Eurico Seabra; abra@dem.uminho.pt



©2018 by the authors. Licensee AEIPRO, Spain. This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

1. Introdução

No âmbito da indústria madeireira, a utilização de máquinas tem permitido o processamento mais rentável da madeira o que permite que a matéria-prima ressurgja no mercado como um produto com características sustentáveis e que seja viável a sua aplicação principalmente na indústria de construção civil. Para além da construção civil, noutros ramos como a conceção de estruturas, a utilização de madeira tem ganho cada vez mais relevo, visto ser um material que apresenta boas características no âmbito de aplicação de compressão e flexão de forças.

Comparando com outros materiais utilizados em engenharia como é o exemplo dos metais, aços, betão, plásticos simples ou mesmo reforçados, verifica-se que a madeira apresenta características que a torna uma matéria-prima especial. Características essas que se prendem com a heterogeneidade, forte anisotropia ou mesmo a variabilidade, resultantes da sua origem biológica (Record, 2017; Nimz *et al*, 2005).

Muito além da rentabilidade de processamento de madeira maciça, o desenvolvimento de equipamentos no âmbito da indústria madeireira tem permitido o desenvolvimento de materiais secundários como é o caso de materiais como contraplacados, MDF entre outros.

No âmbito do desenvolvimento de equipamentos para a serragem de madeira, depreende-se que o conhecimento da madeira é um fator crucial e que permitirá um desenvolvimento adequado à finalidade desejada.

Sendo a madeira um material utilizado desde os primórdios da existência humana, é fácil de perceber que os antepassados desenvolveram alguns "equipamentos" que permitiam o processamento da matéria-prima. A evolução tecnológica permitiu que os equipamentos fossem melhorados até à atualidade. Os equipamentos utilizados na atualidade permitem, de uma forma simplificada, o desdobramento de um tronco de uma planta lenhosa em pequenas partes conforme o desejado mas com uma eficiência elevada (Hoadley, 2000; U.S. Department of Agriculture, 2007).

Neste artigo será apresentado, a conceção e desenvolvimento de um equipamento industrial de processamento de madeira que utiliza uma multi-serra circular de disco com dupla árvore vertical.

2. Teoria do corte de madeira

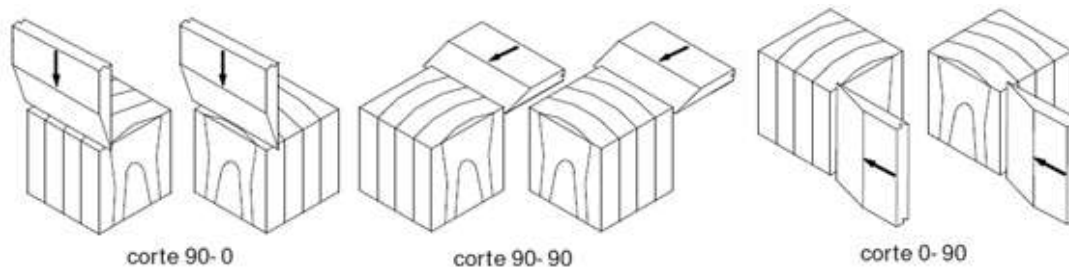
O corte genérico de madeira é realmente um dos aspetos muito importantes a título de percepção no âmbito do desenvolvimento de equipamentos destinados a este fim. Define-se corte convencional como a realização de uma ação por força de uma ferramenta sobre uma peça de madeira, produzindo "cavacos" de dimensões variáveis (UFPR, 2017).

Detalhando o corte convencional, verifica-se que existem dois tipos básicos de corte, o ortogonal e o periférico. O corte ortogonal é definido como o processamento de corte de madeira é feito tendo como base a perpendicularidade entre a direção do fio de corte com a direção do movimento da peça. No corte ortogonal, o resultado do processamento é um plano paralelo à superfície original.

A caracterização do corte ortogonal feita segundo McKenzie (1960), define uma notação com base em dois numerais. O primeiro numeral tem em consideração o ângulo entre a aresta principal da ferramenta de corte e a direção das fibras da madeira sendo que o

segundo numeral visa o ângulo que relaciona a direção de corte e a fibra da madeira, como mostra a figura 1.

Figura 1: Tipos de corte ortogonal (McKenzie, 1960)



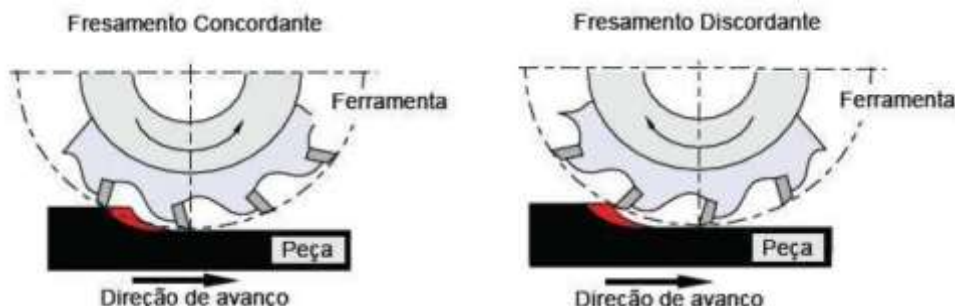
Da análise da figura 1, é possível caracterizar que o corte segundo a normativa 90-0 descreve um movimento de corte segundo a direção longitudinal das fibras, o corte 90-90 descreve um movimento de corte segundo a direção tangencial das fibras e o corte 0-90 descreve um movimento segundo a direção transversal das fibras (Néri *et al*, 1999).

Contrariamente ao corte ortogonal, o corte periférico é produzido pelo corte sucessivo de ferramentas de corte instaladas na periferia de um cabeçote. O resultado do corte é caracterizado por um mesmo cilindro de madeira, obtido com dimensões distintas das iniciais.

Além do corte convencional, existe um outro tipo de corte que se aplica sobre a madeira na qual se denomina como fresagem periférico, ou vulgarmente, aplainamento periférico. Este tipo de corte funciona tendo em utilização uma fresa que apresenta movimento rotacional combinado com um movimento retilíneo alternativo, permitindo o facejamento da superfície.

Descrevendo o processo de fresagem de superfície, encontram-se duas soluções aplicadas ao funcionamento, que se denominam como fresagem discordante ou concordante, conforme ilustra a figura 2.

Figura 2: Tipos de fresagem (Júnior, 2009)



3. Projeto conceptual

Neste capítulo, será detalhado todo o projeto em termos conceptuais tendo em vista a especificação de cada função ou subfunção associadas ao equipamento em desenvolvimento. As especificações utilizadas vão de encontro às associadas à maquinaria de corte de madeira, sendo que adaptadas aos requisitos do projeto em questão.

De acordo com cada função ou subfunção do equipamento foram desenvolvidos, utilizando o software de modelação gráfica 3D SolidWorks (Planchard & Planchard, 2011; Planchard, & Planchard, 2012; Planchard 2014), esboços de todas as soluções consideradas, que posteriormente foram analisadas e seleccionadas as mais apropriadas, mediante uma análise de valor para cada subfunção do equipamento (Pugh, 2008; Shigley *et al*, 2003).

3.1 Atributos

Estes atributos definem-se em duas categorias, os Exigidos e os Desejáveis sendo que vão sempre em consonância com as necessidades associadas à função principal do

equipamento. Define-se como atributos Exigidos todos aqueles que devem ser satisfeitos pelo equipamento sendo que se definem os atributos Desejáveis todos aqueles à qual, em acordo entre a equipa de desenvolvimento e o cliente, se pensa possível de atingir. Na tabela 1 estão descritos os atributos do projeto.

Tabela 1: Listagem de atributos do projeto

Atributos exigidos	Atributos desejáveis
Apropriado para o processamento madeira inteira em lamelas;	Possibilidade de substituição automática de discos de corte;
Capacidade de ajustamento de espessuras de corte;	Possibilidade de corte contínuo de madeira;
Capacidade de alimentação ao corte e extração do corte;	Equipamento com máxima resistência;
Capacidade de centrar a madeira em entrada e saída;	Mínimo custo de construção.
Capacidade de corte múltiplo;	
Manutenção fácil do equipamento;	
Facilidade e rigidez de montagem de conjunto de discos;	
Capacidade de segurança para o operário;	
Capacidade de limpeza de resíduos.	

3.2 Especificações

Neste subcapítulo será abordado o tema das especificações do projeto. Estas especificações vão de encontro com o que é imposto ao processamento que o equipamento necessita de efetuar, e que são indicadas na tabela 2.

Tabela 2: Listagem das especificações do projeto

Madeira (não processada)	Madeira (processada)	Tipo de Corte	Motores	Capacidade Produtiva
Comprimento mínimo/máximo: 800/1500 mm	Comprimento mínimo/máximo: 800/1500 mm	Corte por manga de Multi-disco	Motores de corte elétricos	≥ 30 m ³ /h
Largura mínima/máxima: 65/150 mm	Largura mínima/máxima: 65/150 mm	Corte por horizontal	Potência mínima de 55 kW (75CV)	
Espessura mínima/máxima: >13/350 mm	Espessura mínima: 13 mm			

3.3 Estrutura de funções e subfunções do equipamento

O estudo das funções e subfunções de um determinado equipamento tem por base o pensamento ideológico do que é necessário ao que é esperado que o equipamento realize. Tendo como base a semelhança de alguns equipamentos que permitem processamento de madeira, e os atributos e especificações do projeto, foi possível o desenvolvimento de uma árvore de objetivos para o equipamento a desenvolver. Esta árvore encontra-se descrita na figura 3.

Na figura 4 está representada a “caixa negra” do projeto onde se pode verificar a relação entre as entradas e saídas associadas a equipamento. Esta relação demonstra as necessidades de entrada para a obtenção do produto final desejado (Cross, 2008; Pahl *et al* 2001).

Figura 3: Árvore de objetivos do projeto

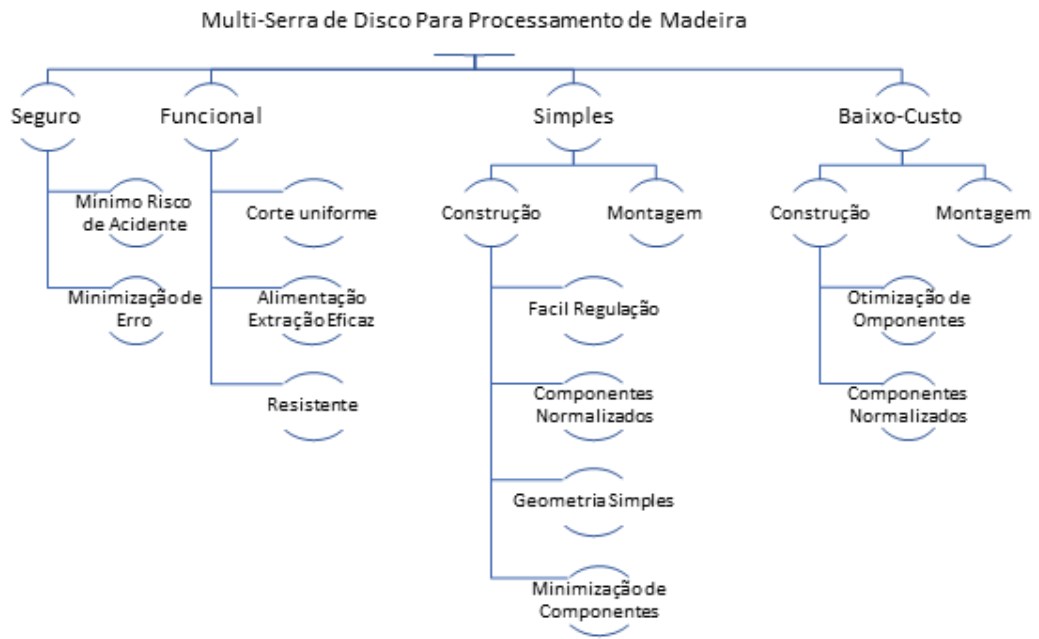
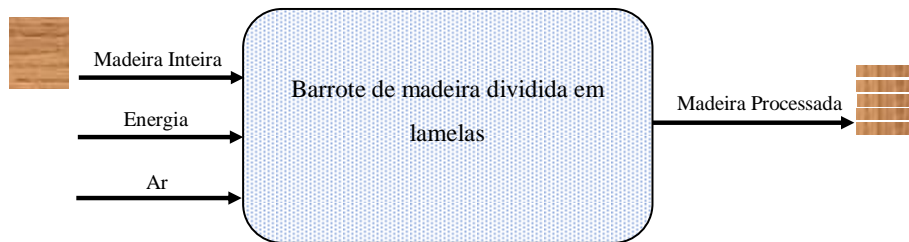
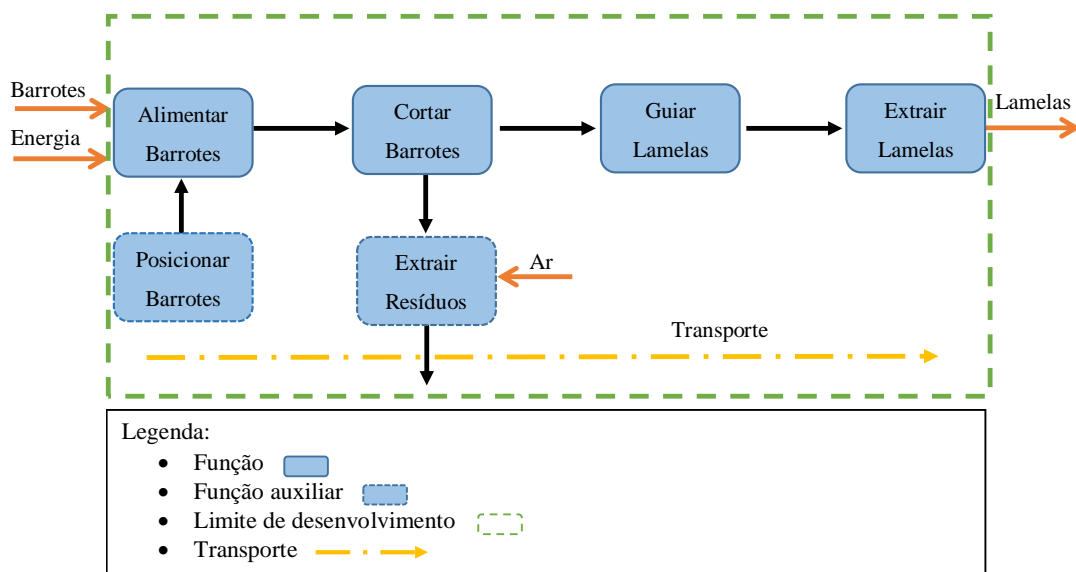


Figura 4: “Caixa negra” do projeto do equipamento



A figura 5 apresenta o esquema das funções e subfunções à qual o equipamento deve realizar bem como toda a interligação entre as funções de processamento. É importante referir que as funções e subfunções do equipamento estão sempre em ligação com as fases/etapas do seu processamento.

Figura 5: Esquema de funções do equipamento



3.4 Mapa morfológico para as funções e subfunções do equipamento

Tendo como objetivo a determinação das melhores soluções ao desenvolvimento do equipamento em estudo, foram realizadas algumas reuniões com os vários elementos incorporados neste projeto, reuniões com fundamento de “brainstorming”. No decorrer destas reuniões surgiram um conjunto de soluções que foram determinadas com base na ideologia do projeto sendo que desse conjunto foram selecionadas as soluções mais adequada ao desenvolvimento global do projeto. Estas soluções serão apresentadas de seguida de forma mais pormenorizada.

Tal como pode ser verificado na figura 5, a primeira função associada ao projeto caracteriza-se como “Alimentar Barrotes”. Esta função é responsável pela alimentação dos barrotes de madeira desde que são colocados na estrutura da máquina até ser iniciado o processo de corte. Assim, deve proporcionar um correto posicionamento dos barrotes e uma tração suficiente para iniciar/continuar a ação de corte. A tabela 3 apresenta as várias soluções.

Tabela 3: Soluções iniciais para a função de "Alimentar Barrotes"

		
<i>Solução 1 – Tapete de Rolos Motorizados (ERIMEC,2017)</i>	<i>Solução 2 – Correntes Transportadoras (IMMA, 2017)</i>	<i>Solução 3 – Rolos de Tração Lateral</i>

Apesar da solução 1 e 2 cumprirem a função exigida, existem riscos associados à aplicabilidade destes mecanismos no sistema em estudo. Um dos constrangimentos está relacionado com o grau de liberdade de movimento que os barrotes de madeira podem apresentar. Com este grau de liberdade existe a probabilidade de que os barrotes de madeira, ao longo do seu percurso, não consigam manter a posição correta e desejável ao corte. Deste modo, foi escolhida a solução 3 que consiste num mecanismo constituído por dois rolos laterais com rotação acionada por um motor. Além do movimento de rotação, o mecanismo apresenta uma estrutura com movimento lateral gerando pressão sobre os barrotes de madeira, permitindo garantir o posicionamento dos barrotes de madeira na posição desejada. Os rolos apresentados deverão garantir também atrito suficiente para contrariar a força de ação dos discos sobre a madeira, evitando a sua repulsão.

Outra função é o do “Corte Barrotes” que contempla um conjunto de elementos de corte, que terão de incidir sobre barrotes de madeira, arrastado pelo mecanismo que constitui o sistema de alimentação de barrotes, para processar a divisão do mesmo barrote em pequenas lamelas. O sistema de corte terá de permitir ajustamento/regulação para ser possível produzir lamelas com diferentes espessuras.

Uma outra característica que é exigida ao desenvolvimento do equipamento em causa é o facto de, obrigatoriamente, a estrutura dos elementos cortantes ter como base, um conjunto de duas árvores verticais que acionam diversos discos de corte. Deste modo, foram elaboradas algumas soluções iniciais, conforme listadas na tabela 4.

Tabela 4: Soluções iniciais para o posicionamento das árvores na função de "Corte Barrotes"

		
<i>Solução 1 – Árvore de discos centrada com movimento lateral</i>	<i>Solução 2 – Árvore de discos centrada sem movimento lateral</i>	<i>Solução 3 – Árvore de discos com descentramento</i>

Atendendo às soluções apresentadas na tabela 4, todas apresentam o mesmo sistema de colocação de discos na árvore. Este mecanismo é constituído por um sistema de discos que contempla todo o “módulo” de corte na qual o equipamento vai operar. Este sistema será apresentado mais à frente.

A solução 1 é constituída por um conjunto de duas árvores verticais onde são colocados os discos, que apresentam um movimento combinado de oscilação lateral juntamente com o movimento de rotação dos discos. Este sistema tem o inconveniente da sua implementação ser complexa e dispendiosa dada a dificuldade de criar um sistema mecânico que consiga suportar os elevados esforços de corte associados ao seu processamento.

A solução 2 contempla um conjunto de duas árvores verticais tal como o sistema apresentado pela solução 1, contudo foi eliminada a possibilidade de movimentar o conjunto, ou seja, nesta solução apenas se considera o movimento de rotação dos discos na qual permite a existência do processo de corte. Apresenta as limitações de ser necessário utilizar diferentes diâmetros de discos de corte, dada a variação dimensional dos barrotes de madeira a cortar, bem como, a não garantia de realizar o corte completo. Relativamente ao constrangimento de variação dimensional dos barrotes de madeira, é simples de ultrapassar, visto que se pode projetar o sistema de corte para a largura máxima dos barrotes a alimentar, no entanto persiste o problema do corte ser incompleto, visto que as árvores de discos se encontram alinhadas concêntricamente.

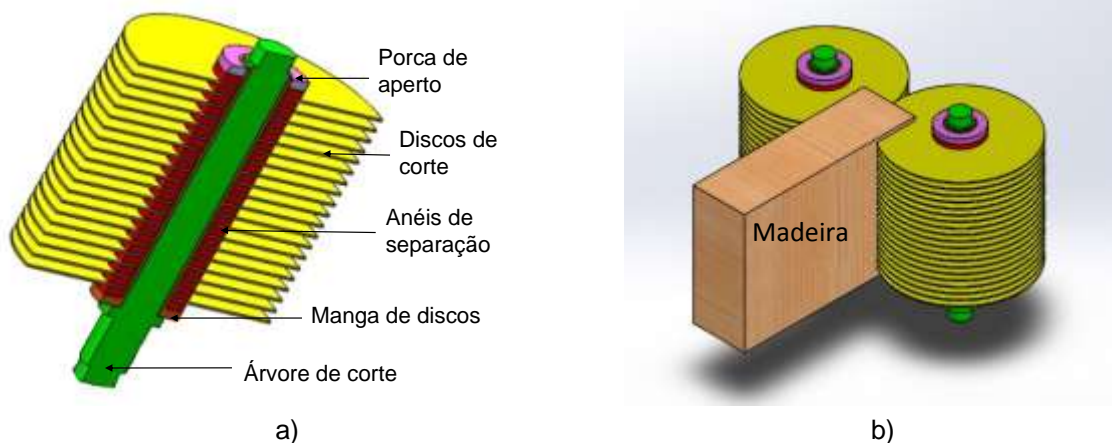
Desta forma, foi seleccionada a solução 3 (tabela 4) que apresenta um mecanismo construído com base num conjunto de duas árvores verticais fixas relativamente a movimento lateral, em que não existe variação dimensional de discos, contudo existe um descentramento das mesmas. Este descentramento permite que, na zona central do conjunto exista uma sobreposição de discos, que geram corte duplo, garantindo o corte completo da superfície.

Garantido o funcionamento do mecanismo de corte de discos relativamente ao posicionamento das árvores, um outro aspeto que é importante ter em atenção é a montagem dos discos nestas árvores.

Conforme ilustrado na figura 6a, a montagem será realizada com o auxílio de uma “manga de discos” que estará enchavetada na árvore de corte. Por motivos de simplificação do projeto e da utilização do equipamento, esta matriz é construída através da alternância de discos de corte e de anéis de separação, permitindo o corte de diversas espessuras. É também possível visualizar na figura 6a a inclusão da porca de aperto na parte superior da “manga” de discos bem como a integração desta “manga” de discos nas árvores de corte da máquina.

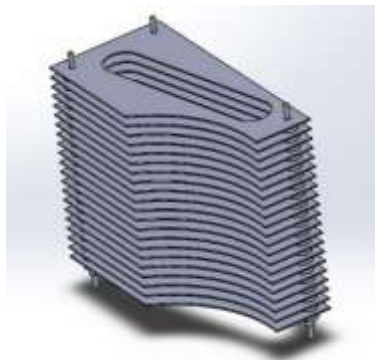
A figura 6b apresenta a configuração final do sistema de corte do equipamento, com as duas árvores verticais, exemplificando o corte em lamelas da madeira.

Figura 6: Sistema da função de corte: a) árvore vertical em corte e b) configuração final



Uma outra função é “Guiar Lamelas” que tem de permitir a separação das lamelas até ao corte integral do comprimento do barrote. Tendo em consideração o limite de guiamento que existe sobre as lamelas de madeira processada, foi idealizada uma solução que permita a separação das lamelas logo após o corte ser realizado até que as mesmas entrem no ponto de extração. Este sistema, que se apresenta na figura 7, é constituído por um conjunto de “placas” separadoras com uma matriz de montagem idêntica à matriz de corte associada à “manga” de discos.

Figura 7: Matriz de guiamento das lamelas



Por último a função de “Extrair lamelas” tem de ser capaz de realizar duas funções essenciais ao corte, nomeadamente, numa fase mais inicial, a manutenção de tensão nas lamelas para que se seja possível a finalização do corte do barrote, bem como a extração das lamelas resultantes do corte para o exterior do equipamento, finalizando o corte completo do barrote em lamelas. Para realizar esta função, foi escolhida a mesma solução da selecionada para a função “Alimentar Barrotes” que é utilizar Rolos de Tração Lateral (solução 3 da tabela 3). Para o correto funcionamento, tal como para a função “Alimentar Barrotes”, os rolos de Tração Lateral aplicarão pressão nas lamelas através duma força imposta por um cilindro pneumático.

4. Análise e discussão do equipamento projetado

No desenrolar do desenvolvimento deste trabalho, foram abordados vários aspetos específicos do equipamento por forma a ser possível a construção de um equipamento tal como requerido. Neste momento, e tendo em consideração todos os capítulos anteriores, será feita uma abordagem do equipamento dividida em dois subcapítulos, nomeadamente, a montagem dos vários sistemas e subsistemas do equipamento e a descrição do seu funcionamento com a indicação das regulações principais.

4.1 Montagem do equipamento

Tendo em conta as condições de funcionamento e de processamento da madeira no equipamento, todo o processo de montagem inicia-se com a implementação do sistema de corte, conforme ilustrado na figura 8.

Conforme a figura 9, após realizada a montagem do sistema de corte na estrutura do equipamento, avança-se para a instalação da matriz de guiamento e do sistema de transporte, que é constituído por um conjunto de rolos livres que permitem a redução de atrito durante o movimento linear da madeira no decorrer do processamento da mesma.

Terminada a integração da matriz de separação de lamelas de madeira será processada a mais uma etapa de montagem, na qual se relaciona com o sistema de alimentação/extração. Para tal, terão de ser instaladas longarinas para servirem de suporte superior e inferior aos quatro rolos de tração lateral que fazem as funções de “Alimentar e Extrair Barrotes”, conforme se pode visualizar na figura 10.

Figura 8: Montagem de sistema de corte na estrutura do equipamento

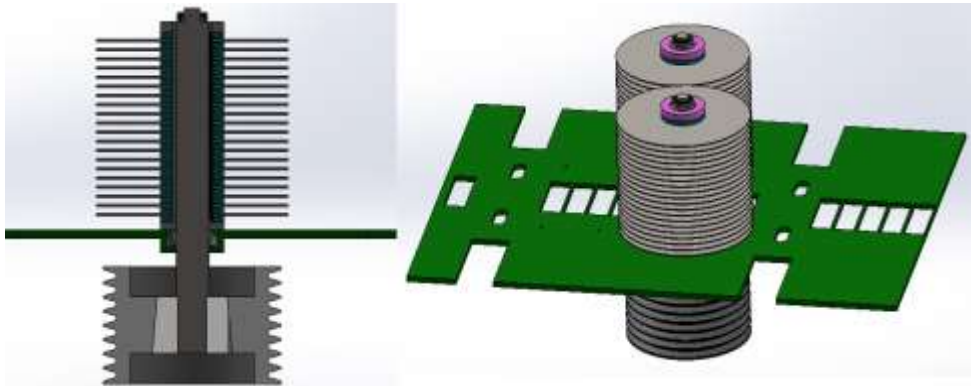


Figura 9: Integração das funções guiamento e de transporte na estrutura do equipamento

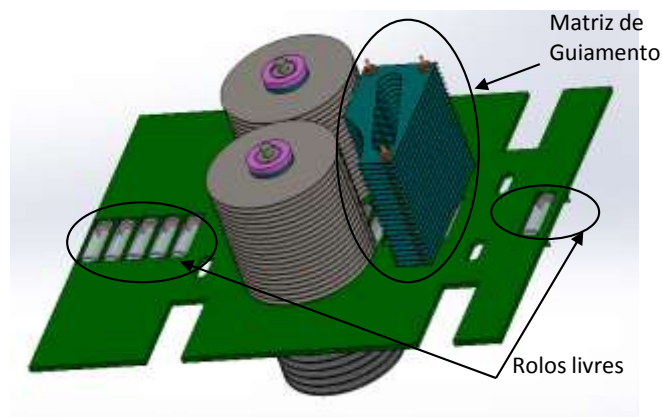
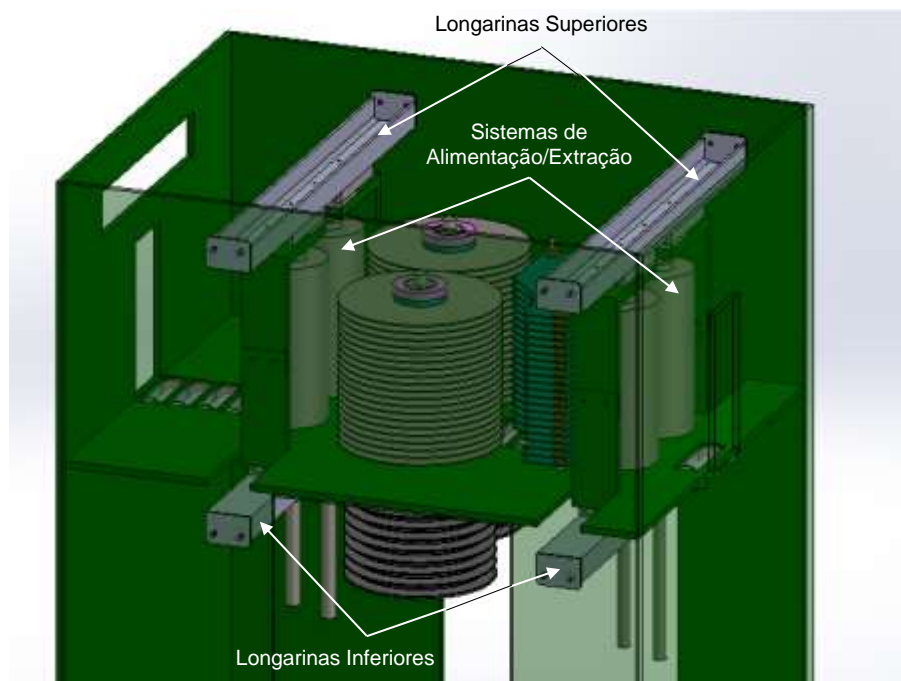


Figura 10: Integração de sistema de alimentação/extração na estrutura do equipamento

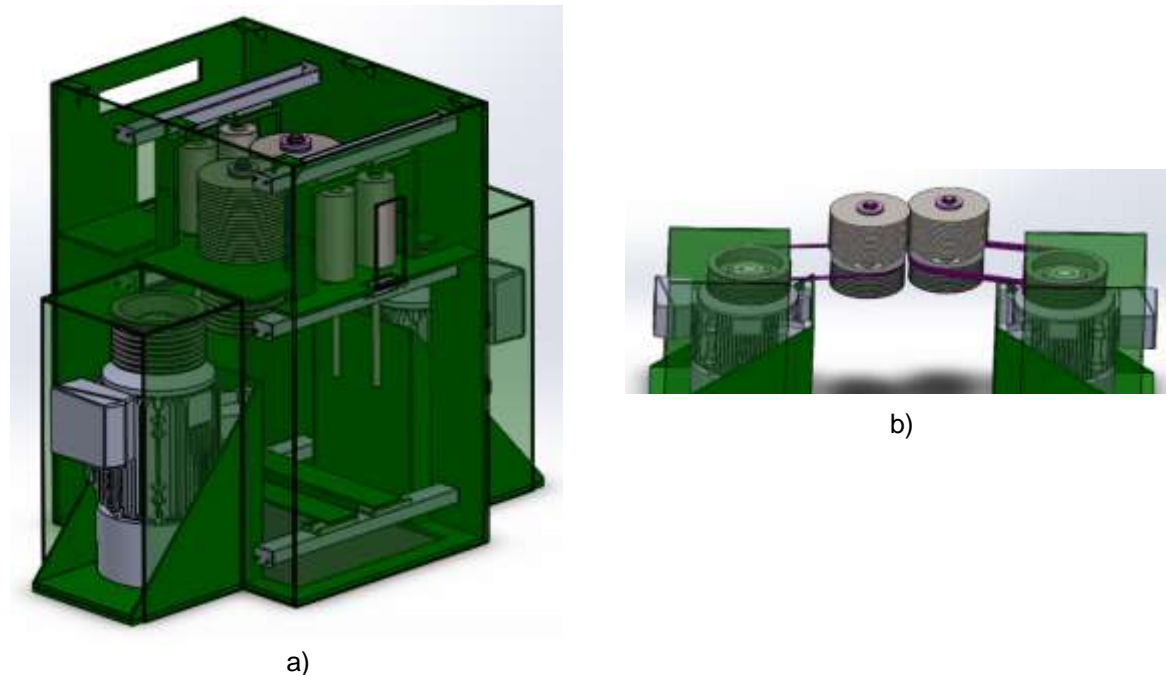


Terminada a montagem de todos os sistemas associados ao processamento de madeira, e por forma a concluir o desenvolvimento do equipamento apenas é importante garantir a integração dos motores que proporcionam o funcionamento do equipamento.

Então, relativamente à integração dos motores no equipamento, é necessário garantir o posicionamento dos mesmos de forma correta para que não ocorram desalinhamentos na transmissão, bem como, o fácil acesso no âmbito de montagem e manutenção.

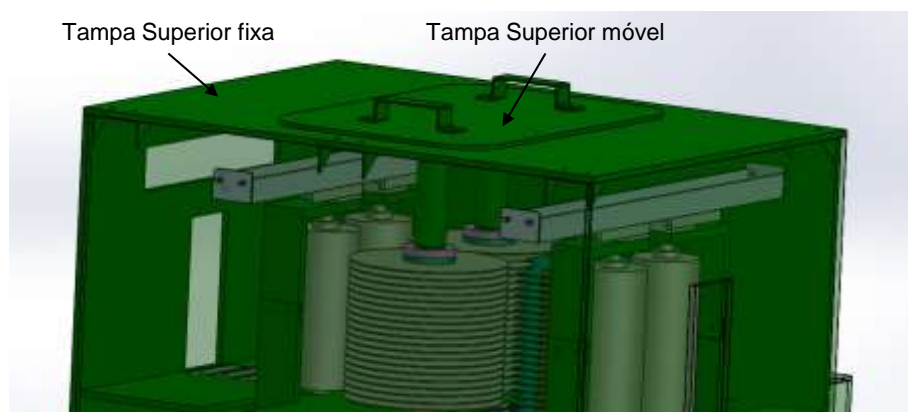
Na figura 11 é possível verificar o modo de aplicação dos motores de transmissão de potência às árvores verticais de corte do equipamento. Apenas neste mesmo conjunto falta a apresentação da tampa superior do equipamento.

Figura 11: Equipamento com motores aplicados: a) conjunto e b) pormenor da ligação



Relativamente à última componente do equipamento, e não menos importante de referir, irá ser feita uma pequena abordagem à tampa superior que reveste todo o equipamento. Este componente, além de servir de revestimento ao equipamento, tal como referido anteriormente, é também base de suporte à manga de discos bem como é pelo mesmo local que existe acesso à manutenção do sistema de corte. Neste sentido, a tampa superior que se localiza na parte de cima do equipamento, é constituída por duas partes, uma delas fixa na estrutura, que permite dar resistência ao mesmo equipamento bem como a toda a sua estrutura, e uma segunda parte que se considera amovível que permite o acesso aos componentes do sistema de corte bem como serve de apoio superior às árvores de discos. A figura 12 mostra a constituição total da parte superior do equipamento.

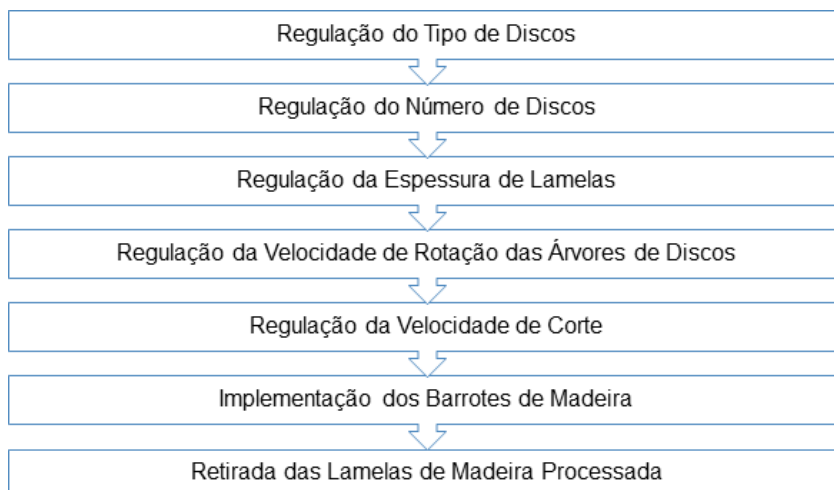
Figura 12: Tampa superior do equipamento



4.2 Princípios de funcionamento

Relativamente ao funcionamento do equipamento que tem vindo a ser apresentado ao longo deste artigo, existem alguns aspetos que necessitam de particular atenção. Apesar do seu funcionamento ser simples, antes de iniciado o processo de corte de madeira, alguns passos importantes terão de ser seguidos por forma a ser possível a realização da função à qual o equipamento foi projetado. A figura 13 apresenta a sequência de passos necessários para realizar o corte em lamelas dos barrotos de madeira no equipamento desenvolvido.

Figura 13: Sequência de passos para o corte dos barrotos de madeira em lamelas



5. Conclusões e trabalhos futuros

Relativamente ao protótipo desenvolvido, pode-se considerar que a ideia de utilizar duas árvores verticais descentradas com discos de corte montados numa manga, para realizar o corte em lamelas de espessuras variáveis de barrotos de madeira é possível de realizar.

Com todo o trabalho prévio realizado, e com auxílio de programas de modelação tridimensional, foi possível o desenvolvimento de um modelo virtual. Associado a este modelo tridimensional, e com recurso a ferramentas de elementos finitos, foi realizado o dimensionamento dos principais componentes estruturais do equipamento, nomeadamente das suas árvores verticais de corte.

Como trabalhos futuros pretendem-se desenvolver os projetos de extração de resíduos, de automação e do sistema de retenção de madeira. Também estudar a possibilidade de incorporar um sistema suplementar que permita a troca de discos e anéis de separação de forma automática por controlo externo.

Em modo de conclusão, pode-se dizer, que este produto é interessante e concebível, apesar de ainda existirem algumas restrições nesta fase de desenvolvimento, que exigem melhoramentos e estudos, para permitir que este possa operar com a fiabilidade e segurança exigidas para os equipamentos industriais.

6. Referências

- Cross, N. (2008). *Engineering Design Methods: Strategies for Product Design*, John Wiley, Chichester, 4th Edition.
- ERIMEC (2017). Convoyeur palettes à rouleaux motorisés. <http://erimec.fr/produits-erimec/les-convoyeurs-palettes-charges-lourdes/convoyeur-a-rouleaux-motorises/>. Acedido em 15 maio de 2017.
- Hoadley, R.B. (2000). *Understanding Wood: A Craftsman's Guide to Wood Technology*. Taunton Press. ISBN 1-56158-358-8.

- IMMA (2017). Esteira Transportadora de Toras Plana, <http://www.itamaq.ind.br/maquinas-madeiras/esteira-transportadora-toras-plana-16/>. Acedido em 7 março de 2017.
- Júnior, N. (2009). Qualidade de superfície na produção de peças S2S no setor de usinagem de uma indústria de molduras de Pinus. Curitiba, Brasil, <http://hdl.handle.net/1884/45679>, Acedido em 5 março de 2017.
- McKenkie, W.M. (1960). Fundamental aspects of the wood cutting process. *Forest Products Journal*, Vol.10, No.9, pp.447-456.
- Néri, A.C., Gonçalves, R., Hernandez, R.E. (1999). Forças de corte ortogonal 90-0 em três espécies de madeira de eucalipto. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, Vol.3, No.2, pp.239-244.
- Nimz, H.H., Schmitt, U., Schwab, E., Wittmann, O., Wolf, F. (2005). Wood in Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry 2005, Wiley-VCH, Weinheim.
- Pahl, G., Beitz, W., Feldhusen, J., Grote, K.H. (2001). *Engineering Design: A Systematic Approach*, 2nd Edition, Springer, London.
- Planchar, D.C. (2014). *SolidWorks 2014 Tutorial with Video Instruction*, SDC Publications.
- Planchar, D.C., Planchar, M.P. (2011) *Engineering Design with SolidWorks 2011 and Multimedia CD Perfect Paperback*, SDC Publications.
- Planchar, D.C., Planchar, M.P. (2012). *Engineering Graphics with SolidWorks 2012 and Video Instruction CD*, SDC Publications.
- Pugh, S. (1997). *Total Design: Integrated Methods for Successful Product Engineering*”, Addison-Wesley, Wokingham.
- Record, S.J. (2017). *The Mechanical Properties of Wood: Including a Discussion of the Factors Affecting the Mechanical Properties, and Methods of Timber Testing*. J. Wiley & Sons, Incorporated.
- Shigley, J.E., Mischke, C.R., Budynas, R.G. (2003). *Mechanical Engineering Design*, McGraw-Hill, 7nd Edition.
- U.S. Department of Agriculture (2007). *The Wood Handbook: Wood as an engineering material*, Forest Products Laboratory, Wayback Machine. General Technical Report 113. Madison, WI.
- UFPR (2017). Teoria de Corte da Madeira. Universidade Federal do Paraná, Brasil. <http://www.madeira.ufpr.br/disciplinasivan/AULA3Teoriadecorte.pdf>. Acedido em 2 março de 2017.