



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

“Júlio de Mesquita Filho”

Engenharia Industrial Madeireira

Campus de Itapeva

**APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE MADEIRA DE PINUS USINADA EM
PROCESSO DE APLAINAMENTO E EM PICADOR DE MOINHO TIPO MARTELO
PARA PRODUÇÃO DE PELLETS**

SAMUEL PERETTI MATARAZZO

Itapeva, SP

2015

SAMUEL PERETTI MATARAZZO

**APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE MADEIRA DE PINUS USINADA EM
PROCESSO DE APLAINAMENTO E EM PICADOR DE MOINHO TIPO MARTELO
PARA PRODUÇÃO DE PELLETS**

Trabalho de Graduação apresentado no Campus Experimental de Itapeva - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", como requisito para a conclusão do curso de Engenharia Industrial Madeireira.

Orientador:

Prof. Dr. Marcos Tadeu Tibúrcio Gonçalves

Itapeva, SP

2015

M425a Matarazzo, Samuel Peretti
Aproveitamento de resíduos de madeira de pinus usinada em processo de aplainamento e em picador de moinho tipo martelo para produção de pellets / Samuel Peretti Matarazzo. – – Itapeva, SP, 2015 59 f.: il.

Trabalho de Graduação do Curso Engenharia Industrial Madeireira apresentado à Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus Experimental de Itapeva, 2015

Orientador: Marcos Tadeu Tibúrcio Gonçalves

Banca examinadora: Paulo Roberto Gomes Alves, Larissa Ribas de Lima

Bibliografia

1. Resíduos de madeira - exploração. 2. Maravalha. 3. Pellets de madeira. I. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho, Campus Experimental de Itapeva. II. Título

CDD 674.84

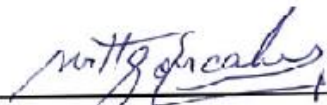


SAMUEL PERETTI MATARAZZO

**APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE MADEIRA DE PINUS
USINADA EM PROCESSO DE APLAINAMENTO E EM PICADOR DE
MOINHO TIPO MARTELO PARA PRODUÇÃO DE PELLETS**

Trabalho de Conclusão de Curso para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Industrial Madeireira, da Universidade Estadual Paulista - UNESP - Campus Experimental de Itapeva.

BANCA EXAMINADORA

Orientador: _____


Prof. Dr. Marcos Tadeu Tibúrcio Gonçalves
Universidade Estadual Paulista - UNESP - Campus Experimental de Itapeva.

2º Examinador: _____


Prof. Paulo Roberto Gomes Alves
Universidade Estadual Paulista - UNESP – Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá.

3º Examinador: _____


Eng. Ind. Mad. Larissa Ribas de Lima
Universidade Estadual Paulista - UNESP - Campus Experimental de Itapeva.

Itapeva, 04 de novembro de 2015.

*O bem que você faz hoje pode ser esquecido
amanhã. Faça o bem assim mesmo.
Veja que, ao final das contas, é tudo entre você
e Deus! Nunca foi entre você e os outros.*

Madre Teresa de Calcutá

AGRADECIMENTOS

Acima de tudo e de todos, eu agradeço a Deus por sua bondade e dedicação comigo, me ajudando a todo o momento, iluminando as minhas escolhas, e principalmente, por ter cuidado de mim nesses anos em que fiquei longe da minha família, durante a semana, para me dedicar aos estudos. Não foi fácil, a luta foi grande, o desânimo foi imenso, mas em tudo ele passou comigo e me ajudou a seguir em frente.

A minha querida família, que me dedicaram todo o amor e força que eles poderiam transmitir, dando apoio e suporte nas minhas decisões, mostrando a importância de estudar e buscar o conhecimento, procurando sempre a humildade. Eles estiveram do meu lado desde o meu nascimento, me ensinando o certo e o errado, para que eu tivesse capacidade de escolher o meu caminho, com a certeza de que fiz o certo.

Aos meus amigos, Alex e Zé, que se tornaram minha segunda família, pois convivi com eles durante todos esses anos de graduação, no qual, dividi alegrias e tristezas. Nossa amizade durará independente do tempo e da distância, pois eles são os meus irmãos que Deus me permitiu escolher.

Ao Prof. Dr. Marcos Tadeu Tibúrcio Gonçalves, por ser um exemplo profissional, e por todos os conselhos que ele me deu, que irão influenciar nas minhas decisões profissionais, e acima de tudo, agradeço por me ajudar a realizar este trabalho, bem como, pela paciência e dedicação.

A minha amiga Mariane por todas as nossas risadas e momentos inesquecíveis que levarei comigo. À Larissa, pela amizade sincera e por estar sempre à disposição para me ajudar.

E a Republica Motosserra por me acolher ao longo destes 5 anos, todos os integrantes desta grande família estarão presentes em minhas lembranças com muito carinho.

RESUMO

Devido aos problemas ambientais enfrentados atualmente, cresceu a preocupação e a busca por parte das empresas e pessoas físicas por alternativas sustentáveis para as atividades industriais e cotidianas. E um exemplo destas medidas é a reutilização de resíduos em outros processos para evitar o desperdício, como a utilização de resíduos madeireiros para obtenção de pellets, produto com grande valor agregado, pois produz energia limpa. Com base nisso, o presente trabalho teve como objetivo desenvolver um estudo sistematizado sobre o aproveitamento de resíduos da madeira do gênero *Pinus* sp proveniente dos processos de usinagem realizados em indústrias madeireiras, bem como de processos de aplainamento, na forma de maravalha, para a produção de pellets. No qual, inicialmente, se apresenta neste trabalho uma revisão bibliográfica sobre os aspectos teóricos e tecnológicos dos assuntos relativos ao tema proposto, e na sequência, a definição de maravalha, o processo produtivo deste produto e os equipamentos utilizados para o mesmo, a definição de pellets, o mercado internacional deste produto, suas propriedades físico-químicas, as normas de qualidade, o processo de produção de pellets e os maquinários utilizados. E então, foram analisados e discutidos os processos produtivos para ambos os casos, produção de pellets a partir de maravalha e a partir de resíduos, apresentando as vantagens e desvantagens em relação aos aspectos econômicos e ambientais.

Palavras-chave: Aproveitamento de Resíduos. Maravalha. Pellets de Madeira.

ABSTRACT

Due to environmental issues currently faced, companies and individuals look for sustainable alternatives for industrial and daily activities. An example of these activities is the reuse of residuals of materials in other processes to avoid waste, and the use of wood residuals to obtain pellets, a product with high aggregated value because it produces clean energy. Based on this, the present study aimed to develop a systematic study on the use of wood residues from *Pinus* sp species from the machining processes performed in wood industries, as well as planning processes in the form of wood shavings for the production pellets. Initially it is present in this paper a bibliographic review of the theoretical and technological aspects of issues relating to the theme. Some themes were discussed as definition of shavings, the production process of this product and the equipment used for the same, the definition of pellets, the international market for this product, the pellet's physical and chemical properties, quality standards, the pellet production process and machinery used. After that, the production processes for both cases were analyzed and discussed, the production of pellets from wood shavings and from waste, presenting the advantages and disadvantages in relation to economic and environmental aspects.

Key words: Waste Utilization. Shavings. Wood Pellets.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Geometria do fresamento concordante	17
Figura 2: Geometria do fresamento discordante.	17
Figura 3: Ilustração do processo de fresamento periférico discordante	18
Figura 4: Cabeçote porta facas lisas hidro	19
Figura 5: Cabeçotes desintegradores helicoidal (HSS) com: (a) pastilhas de HSS 12,5 mm e (b) com pastilhas de HSS de 6,5 mm	20
Figura 6: Fresa: (a) moldurada, (b) chanfrada.....	20
Figura 7: Fresas para Deck.....	21
Figura 8: Fresas reguláveis com ou sem riscador.....	21
Figura 9: Maravalha de Madeira.....	23
Figura 10: Processo de produção de maravalha, (a) patio de toras, (b)	25
Figura 11: Descascador de Tambor Rotaivo	27
Figura 12: Plainas Fortex para produção de maravalhas	29
Figura 13: Figura esquemática do secador rotativo	30
Figura 14: Secador Rotativo FORTEX.	31
Figura 15: Prensa Enfardadeira FORTEX.....	32
Figura 16: Pellets de Madeira.....	33
Figura 17: Ciclo do carbono	34
Figura 18: Evolução do número de indústrias de pellets	36
Figura 19: Etapas de produção de pellets	41
Figura 20: Fluxograma do processo produtivo	43
Figura 21: Moinho de martelo Lippel MML 650	44
Figura 22: Moinho de martelo Lippel MML 660	45
Figura 23: Moinho de Martelo MV1	46
Figura 24: Secador ECR	48
Figura 25: Peletizadoras Lippel	49
Figura 26: Prensa Peletizadora Comby.....	51
Figura 27: Resfriador Contracorrente Gell	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Especificações Técnicas das plainas Fortex	28
Tabela 2: Especificações Técnicas para os equipamentos da Krepool.....	29
Tabela 3: Especificações técnicas do secador rotativo FORTEX.....	31
Tabela 4: Ficha técnica da prensa enfardadeira FORTEX	32
Tabela 5: Normas para pellets de madeira elaboradas na Alemanha e nos EUA.....	39
Tabela 6: Norma para pellets de madeira elaborada na Austria e Suécia	39
Tabela 7: Valores limites para os parâmetros mais importantes do pellets.....	40
Tabela 8: Moinho de martelo Lippel MML 650	45
Tabela 9: Moinho de martelo Lippel MML 660	46
Tabela 10: Especificações Técnicas do Moinho de Martelo MV1	47
Tabela 11: Especificações Técnicas do Secador ECR - GELL	48
Tabela 12: Especificações Técnica da Peletizadora PLB	50
Tabela 13: Especificações Técnica da Peletizadora PVL	50
Tabela 14: Especificação Técnica da Prensa Peletizadora Comby	51
Tabela 15: Especificações Técnicas do Resfriador Contracorrente	52

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
2	ASPECTOS TEÓRICOS E TECNOLÓGICOS	13
2.1	A madeira do gênero pinus	13
2.1.1	<i>Pinus elliottii</i>	13
2.2.2	<i>Pinus taeda</i>	14
2.2	Processo de usinagem e geração de resíduos	14
2.2.1	Resíduos de serraria.....	15
2.2.2	Resíduos de beneficiamento	15
2.3	Fresamento periférico e tipo de fresas.....	16
2.3.1	Tipo de Fresas.....	19
3	DESENVOLVIMENTO TEÓRICO.....	22
3.1	Maravalhas de Madeira.....	22
3.2	O processo de produção de maravalha	23
3.3	Equipamentos utilizados na produção de maravalha	26
3.3.1	Descascadores de toras	26
3.3.2	Plaina para fabricação de maravalhas.....	27
3.3.3	Secador rotativo contínuo	30
3.3.4	Prensa enfardadeira	31
3.4	Pellets de madeira	33
3.5	Mercado de pellets.....	34
3.6	Propriedades físico-químicas dos Pellets	36
3.6.1	Análise do teor de umidade das amostras.....	36
3.6.2	Teor de materiais voláteis.....	36
3.6.3	Teor de cinzas	37
3.6.4	Teor de carbono fixo	37
3.6.5	Poder calorífico	37
3.6.6	Quantidade de finos.....	38
3.7	Normas para pellets de madeira	38
3.8	O processo de produção de pellets de madeira.....	41
3.8.1	Uniformização das Partículas	42
3.8.2	Secagem da Matéria Prima	42

3.8.3	Peletização	42
3.8.4	Resfriamento do Produto	43
3.9	Equipamentos utilizados de pellets	43
3.9.1	Moinho de martelo	44
3.9.2	Secadores	47
3.9.3	Peletizadora	49
3.9.4	Resfriadores	52
4	Aspectos Conclusivos	54
5	Referências Bibliográficas	56

1 INTRODUÇÃO

O meio ambiente é um dos assuntos mais discutidos hoje em dia, pois ele nos traz muitas preocupações, já que o homem utilizou de seus recursos de forma desenfreada trazendo como consequência grandes catástrofes ambientais, mudanças climáticas, devastação de florestas, redução dos recursos hídricos, entre outros. Frente a este problema muitos procuram medidas e alternativas para as atividades industriais e cotidianas visando à sustentabilidade ambiental. No qual, o aproveitamento de resíduos, para evitar desperdício da matéria prima, e a utilização de energias limpas, a fim de reduzir a emissão de gases causadores do efeito estufa são uma das medidas utilizadas atualmente.

Na indústria madeireira, por exemplo, são gerados muitos resíduos durante o processo, por causa das imperfeições existentes na madeira, não conformidades, defeitos gerados durante a secagem, entre outros. Estes resíduos podem se tornar úteis em outros processos, como na obtenção de maravalhas e pellets, pois são produtos com valor agregado, porque produzem energia limpa.

Os dois proporcionam um destino para os resíduos de madeira, reduzindo, portanto, o desperdício. Os processos de obtenção destes dois produtos são diferentes, pois, a maravalha é obtida por plainas específicas que realizam o corte da matéria prima em espessuras e tamanhos pré-definidos, já os pellets são produzidos pela compactação da matéria prima, que pode ser serragem, resíduos da construção civil e da indústria madeireira, podas de árvore, bagaço de cana, entre outros.

Além dos processos serem diferentes entre si, é possível notar que o mercado é mais exigente em relação aos pellets, porque há normas para este produto determinando como devem ser as suas propriedades físico-químicas, e caso os pré-requisitos não sejam atendidos, os produtos não podem ser exportados. Muitas empresas se preocupam com isso, porque este produto tem uma demanda maior no exterior, ele é muito utilizado, principalmente no mercado europeu e americano, para aquecimento comercial e residencial e como combustível para

geração de energia elétrica, porque, ele é compactado e denso, com baixo teor de umidade o que proporciona maior eficiência na combustão.

Já a maravalha, que tem um mercado mais difundido no Brasil quando comparado com o mercado de pellets, é utilizada na pecuária e agricultura, principalmente em granja e estábulos. Este produto é vantajoso porque reduz a presença de microrganismos e transmissões de doenças para os animais.

Os dois produtos são muito importantes porque além de reduzirem o desperdício da indústria madeireira, produzem energia limpa com reduzida emissão de gases causadores do efeito estufa. E outro fator importante que precisa ser ressaltado é o fato de que a maravalha pode ser utilizada como matéria prima na fabricação de pellets, ou seja, elas podem ser trabalhadas individualmente ou serem integradas em uma indústria fabril.

No entanto, apesar de todas essas qualidades, não há muitos estudos sobre eles, principalmente estudos sobre a maravalha. Com base nisso, este trabalho reúne todas as informações sobre a maravalha e os pellets, abrangendo suas características, utilizações, processos de fabricação, normas (no caso dos pellets) e equipamentos utilizados em um estudo sistematizado, para servir como base de conhecimento e conscientização das possíveis alternativas para os resíduos da indústria madeireira.

2 ASPECTOS TEÓRICOS E TECNOLÓGICOS

Neste tópico haverá uma descrição sucinta da madeira de pinus, do processo de usinagem e geração de resíduos na serraria e beneficiamento e sobre o fresamento periférico cilíndrico tangencial, para embasar o conteúdo subsequente a este tópico.

2.1 A madeira do gênero pinus

De acordo com a Associação Brasileira de Celulose e Papel – BRACELPA, o pinus chegou ao Brasil, através de imigrantes europeus há mais de um século, com o objetivo de introduzi-lo no país para suprir a necessidade de madeira no abastecimento industrial. Este gênero, devido às condições climáticas do país, apresenta um crescimento rápido, fator que contribui expressivamente para a absorção de CO₂ da atmosfera além de ajudar a preservar as florestas nativas, bem como, a equilibrar o clima. Dentre as espécies de pinus, o *Pinus elliottii* e o *Pinus taeda* são os que mais se destacam pela facilidade nos tratamentos culturais, reprodução intensa e rápido crescimento.

2.1.1 *Pinus elliottii*

O *Pinus elliottii* Engelm., Pinaceae, popularmente conhecido como pinus, pinheiro-americano ou simplesmente pinheiro, possui cerne e alburno indistintos pela cor, baixa densidade e cor branca- amarelado. Ele é uma espécie considerada exótica no Brasil encontrada na região sul e sudeste, sendo de fácil secagem e de boa trabalhabilidade, porém, é suscetível ao ataque de fungos, cupins, brocas de madeira e perfuradores marinhos. O pinus é utilizado na construção civil como ripas, cordões, guarnições, rodapés, lambris, forma de concreto, pontaletes, entre outros, e também, na indústria mobiliária, na confecção de chapas, bobinas, carretéis artigos de esporte e brinquedos (NAHUZ, 2007).

2.2.2 *Pinus taeda*

O *Pinus taeda* L., Pinaceae, possui características semelhantes ao *Pinus elliotti*, pois ele também é uma espécie exótica encontrada na região sul e sudeste do Brasil e possui cor branca- amarelado. No entanto, esta espécie é considerada moderadamente difícil de trabalhar com ferramentas manuais e pode apresentar dificuldade na colagem. Já no aplainamento, lixamento, torneamento e demais operações de corte, ela oferece bons resultados. Podendo ser utilizada na construção civil (na parte estrutural), na indústria mobiliária, indústria de compensados, entre outros. Outro fator importante, que tem de ser ressaltado, é em relação à secagem desta madeira, pois, ela é de fácil secagem e apresenta poucos defeitos (NAHUZ, 2007).

2.2 Processo de usinagem e geração de resíduos

Durante o processamento da madeira são gerados diversos resíduos desde o abate da árvore até a secagem do produto final, no qual, os processos e os respectivos resíduos, de acordo com Gonçalves e Rufino (1989) são:

- Abate da árvore: galhos (finos e grossos) e os ápices dos troncos.
- Descascador: casca
- Desdobro: costaneiras, destopos (de pranchas e tábuas) e serragem fina.
- Desengrosso: serragem grossa.
- Serramento ou fresamento: serragem fina, partes rejeitadas e sobras.
- Usinagem de acabamento: serragem fina, sobras e pó de lixamento.
- Secagem: Peças rejeitadas por trincas e empenamento.

O uso destes resíduos como matéria prima em outros processos é imprescindível para diminuir a área de depósito, reduzir as despesas de manipulação, movimentação e beneficiamento, evitar a poluição ambiental e da fábrica, reduzir os custos de fabricação do produto principal, entre outros (GONÇALVES e RUFINO, 1989).

Devido a grande quantidade de resíduos gerados na indústria madeireira, nas diversas etapas de produção, há trabalhos de pesquisa realizados em serrarias e empresas de beneficiamentos para quantificar os resíduos gerados e achar um destino aos mesmos.

2.2.1 Resíduos de serraria

Os resíduos gerados em serraria são provenientes dos processos realizados desde o abate da árvore até o desdobro, nestas empresas normalmente os processos não possuem um alto grau de automação o que contribui para um maior porcentagem de resíduos gerados em relação a matéria prima utilizada.

Em um estudo realizado por Gonçalves et al. (2002), em dez serrarias da região sudoeste do estado de São Paulo, foi quantificado e caracterizado os resíduos gerados no processamento da madeira (serragem e cavaco), no qual, eles observaram que: em quatro empresas pesquisadas, o aproveitamento da matéria prima foi acima de 60%; em empresas que trabalhavam com toras de comprimento próximo da dimensão do produto final, os volumes de destopo foram menores; e nas operações de serramento utilizando serra circular, o volume gerado de serragem foi elevado em média 50% se comparados com as operações com serra fita.

2.2.2 Resíduos de beneficiamento

Em empresas de beneficiamento, como as de produção de chapas, produção de lápis, decks, entre outros, o processo vai desde o abate até o acabamento final do produto, portanto, há uma maior variedade de resíduos gerados, no entanto, estas empresas são mais automatizadas, utilizando de recursos tecnológicos e de layouts apropriados para reduzir a quantidade de resíduos.

Muitos dos resíduos gerados podem ser utilizados para biomassa, como, a casca, as costaneiras, a serragem, os cavacos, etc. Em processos de fresamento, por exemplo, o material em excesso é removido na forma de cavacos (maravalhas),

e estas podem ser utilizadas para biomassa de forma direta, ou então, elas podem ser utilizadas como matéria prima para a produção de pellets, este produto também é destinado para biomassa, no entanto, ele é mais compacto e denso, fator que contribui para o menor custo de transporte.

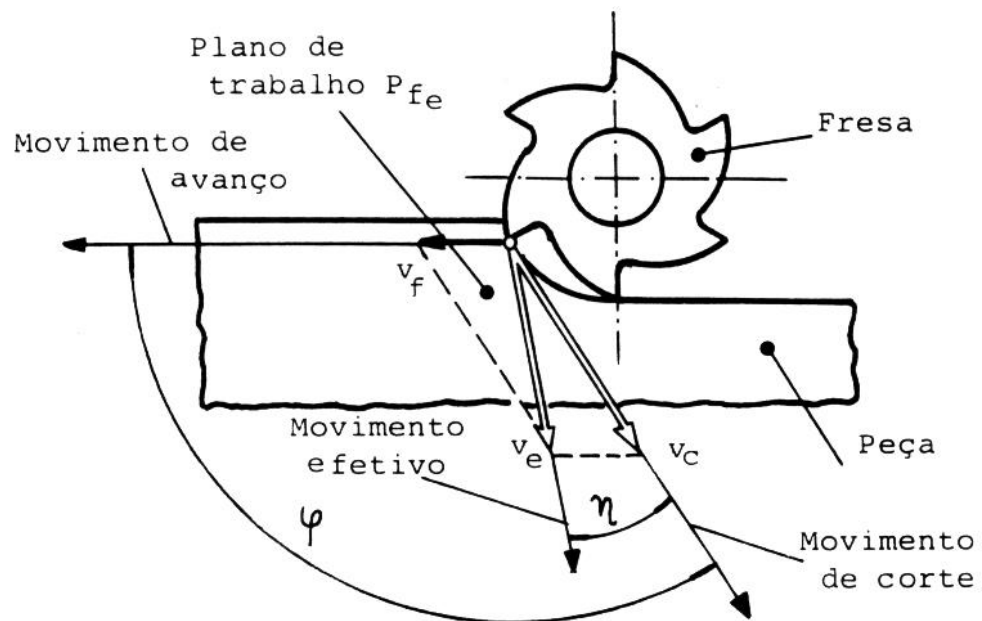
2.3 Fresamento periférico e tipo de fresas

Dentre as etapas de beneficiamento da madeira citados no item anterior, a formação da maravalha (resíduo em estudo) ocorre principalmente na etapa de fresamento, processo no qual a madeira é removida por fresas.

As fresas são ferramentas de corpo único mono ou multicortantes, contendo pastilhas ou lâminas de corte fixadas ao corpo da fresa ou intercambiáveis. Estas ferramentas promovem o corte intermitente removendo o excesso de madeira da peça, na forma de cavacos, durante a usinagem (GONÇALVES, 2000).

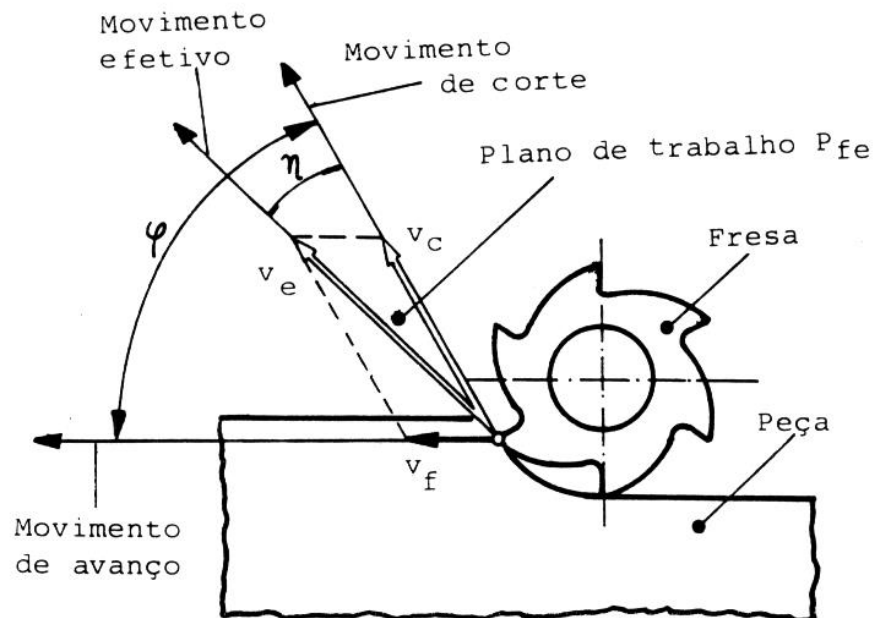
O processo de fresamento pode ser tangencial, quando os dentes ativos estão na superfície cilíndrica da ferramenta, ou então, pode ser frontal quando os dentes ativos estão na superfície frontal da ferramenta (DINIZ, et al., 2006). No fresamento cilíndrico tangencial o processo pode ser concordante (*dow-milling*) se a ferramenta e a peça se moverem na mesma direção (Figura 1), ou então o processo pode ser discordante (*up-milling*) se a ferramenta e a peça se movimentarem em direções contrárias (Figura 2) (GONÇALVES, 2000).

Figura 1: Geometria do fresamento concordante



Fonte: ABNT NBR 6162 (1988)

Figura 2: Geometria do fresamento discordante.



Fonte: ABNT NBR 6162 (1988)

Para Gonçalves (2000) estes movimentos e as grandezas de avanço são referentes a uma peça parada, e normalmente representados com uso de outras nomenclaturas, como:

P_{fe} = Plano de trabalho, é o plano que passando pelo ponto de corte escolhido contém as direções de corte e de avanço;

V_c = Velocidade de corte em m/s;

V_e = Velocidade efetiva em m/s;

V_f = Velocidade de avanço em m/min;

a_e = Profundidade de corte em mm;

η = Ângulo de direção efetiva;

φ = Ângulo de direção de avanço.

Durante o fresamento periférico a espessura do cavaco instantâneo sofre mudança constantemente, indo de um valor mínimo no momento de contato até um valor máximo quando a ferramenta emerge da madeira, isto ocorre porque a aresta cortante muda continuamente sua direção de corte em relação à direção das fibras (Figura 3).

Figura 3: Ilustração do processo de fresamento periférico discordante



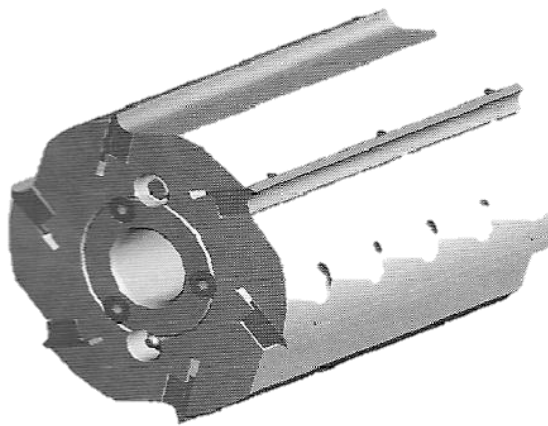
Fonte: Koch (1964)

2.3.1 Tipo de Fresas

As fresas utilizadas em processos industriais podem ser de cabeçote com facas ou pastilhas intercambiáveis com geometria de perfil ou de dentes desintegradores. No qual os desintegradores, em específico, são utilizados para aplinar madeira maciça e em plainas para a geração de maravalhas como produto final e não como resíduo.

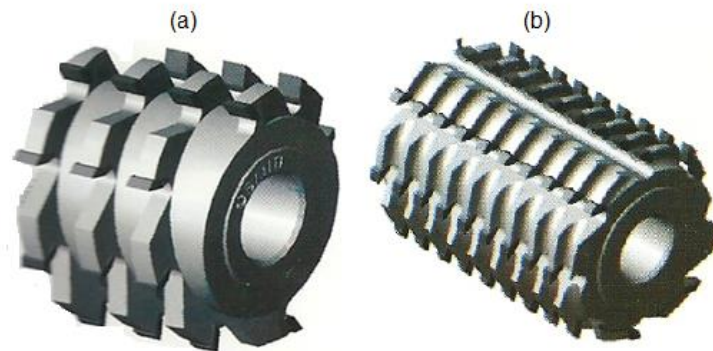
Os cabeçotes porta facas lisas hidro (Figura 4) e os cabeçotes desintegradores helicoidal (HSS) com pastilhas de HSS de 12,5 mm (Figura 5. a) e com pastilhas de HSS de 6,5 mm (Figura 5. b) são exemplos dos tipos fresas existentes, estas são utilizadas na grande maioria para aplinar madeira maciça. As helicoidais HSS permitem uma maior velocidade de avanço aliado com um menor consumo de potência (SANTI, [?]).

Figura 4: Cabeçote porta facas lisas hidro



Fonte: Santi [?]

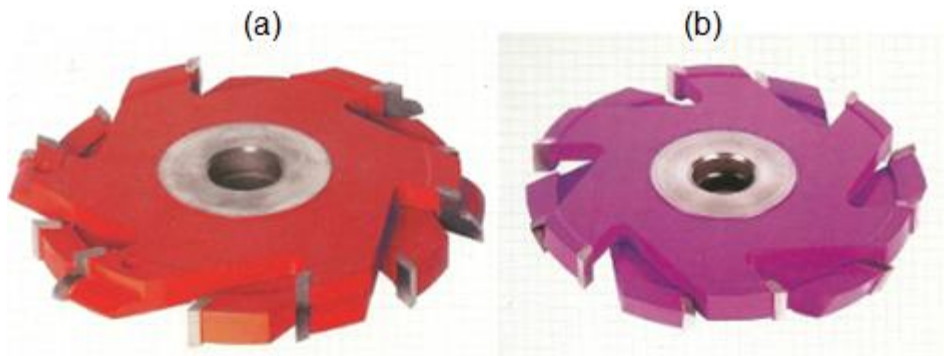
Figura 5: Cabeçotes desintegradores helicoidal (HSS) com: (a) pastilhas de HSS 12,5 mm e (b) com pastilhas de HSS de 6,5 mm



Fonte: Santi [?]

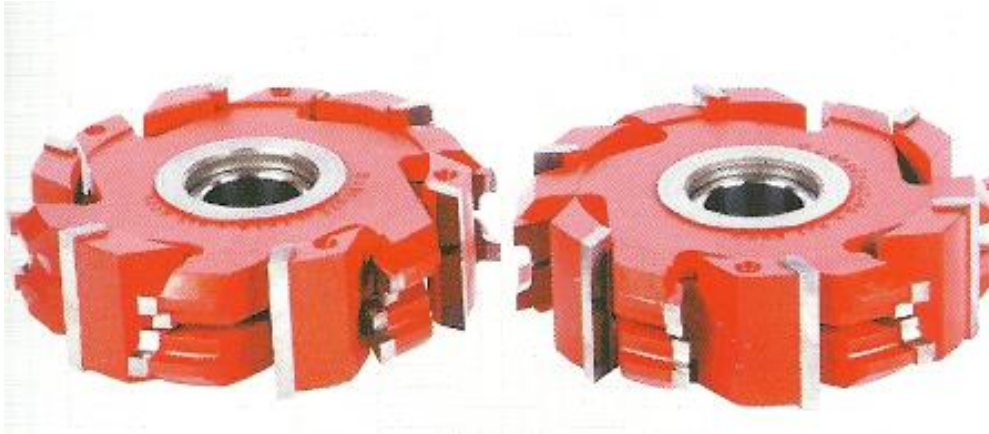
Há também, fresas retas para respingar moldurada (Figura 6 a) e chanfrada (Figura 6 b), fresas para deck (Figura 7), reguláveis para ranhuras com ou sem riscador (Figura 8), entre outros.

Figura 6: Fresa: (a) moldurada, (b) chanfrada



Fonte: Franzoi [?]

Figura 7: Fresas para Deck



Fonte: Franzoi [?]

Figura 8: Fresas reguláveis com ou sem riscador



Fonte: Franzoi [?]

3 DESENVOLVIMENTO TEÓRICO

3.1 Maravalhas de Madeira

A maravalha (Figura 9) é o cavaco de madeira gerado em plainas no processo de fresamento periférico (cilíndrico tangencial) através da usinagem de superfícies de madeira, empregando-se fresas de cabeçote com facas ou pastilhas intercambiáveis, ou ainda, com fresas de corpo único em aço rápido ou metal duro soldado, no qual estas podem ter geometria de perfil ou de dentes desintegradores.

Produzida a partir de madeira de descarte, sobra de serrarias, galhos de árvores, entre outros, a maravalha é maior que as serragens e normalmente apresenta um formato espiral, com espessura definida de acordo com as condições de usinagem utilizada (FRAMAQ, 2015). Para Gonçalves (2000) a espessura do cavaco em operações de fresamento (adotada como a espessura de corte média “hm”) pode ser calculada pela Equação 1.

$$hm = \frac{V_f}{Z \cdot n} \cdot \sqrt{\frac{a_e}{D}} \quad (1)$$

V_f = Velocidade de avanço [mm/min]

Z = Número de dentes da ferramenta

n = Rotação de corte [mm]

a_e = Profundidade de corte [mm]

D = Diâmetro da ferramenta [mm]

Figura 9: Maravalha de Madeira



Fonte: SERRATE (2015)

Com a produção de maravalhas é possível reaproveitar materiais considerados como resíduos em outros processos madeireiros, contribuindo para a sustentabilidade ambiental, além de que, o produto final permite eliminar muitos microrganismos que causam doenças em animais, portanto, este produto, é aplicado principalmente no ramo pecuário e na agricultura (FORTEX, 2015). O uso deste material evita o contato direto dos animais com o solo (piso), além de ser substrato para absorção da água e incorporação das fezes, ele também contribui para a redução da variação da temperatura no local. Sendo importante destacar que a maravalha da madeira de pinus, devido à porosidade da espécie, apresenta melhor absorção, portanto, deve ser procurar maravalhas macias e claras. (MARAVALHA ROSSA, 2015).

3.2 O processo de produção de maravalha

Para a produção de maravalha pode ser utilizado qualquer espécie de madeira, embora as mais comuns sejam a de pinus e eucalipto por serem madeiras de reflorestamento, também são indicados restos de madeiras, galhos de árvores,

troncos de madeiras, palanques, desde que, estas sejam isentas de pregos e demais impurezas que dificultem o processo (FORTEX, 2015).

A matéria prima (madeira) é adquirida em seu estado bruto, de matas de reflorestamento, e são estocadas e tratadas na própria fábrica. Esta matéria prima passa por um processo de maturação, no pátio, e por um processo de secagem, ainda no estado bruto sem casca, a fim de melhorar o rendimento nas próximas etapas. Após o processo de secagem a madeira é cortada com laminas especial, o que proporciona a produção de laminas de madeira uniforme e macia, minimizando a possibilidade de fermento ou stress das aves. Em seguida ao corte, em empresas de alta qualidade, a maravalha produzida passa por um processo de secagem a altas temperaturas, obtendo com isso um produto macio e uniforme, com umidade necessária para a utilização em granjas, com condições de absorção. Há também um tratamento à quente (opcional) para aumentar a pureza do produto com uma adesão controlada de para formoldeido, que se adere ao produto ainda quente, tratando 90% da maravalha. Por fim, o produto é compactado para aumentar a concentração do produto, facilitando a estocagem e manuseio, proporcionando um transporte mais seguro com menos perdas, a embalagem é realizada com um filme plástico, dentro das normas aeronáuticas de transporte (MARTER, 2015). A Figura 10 ilustra as etapas deste processo.

Para Gonçalves (2000), um metro cúbico de madeira maciça equivale a 2,5 à 2,7 m³ de partículas não compactada, e o peso de 1 m³ destas partículas variam de acordo com a espécie de madeira e com seu conteúdo de umidade, mas para efeito de cálculos se considera a seguinte relação: 1 m³ de partículas (no estado verde) não compactada pesa de 240 à 330 Kgf.

Figura 10: Processo de produção de maravalha, (a) patio de toras, (b) corte, (c) secagem da maravalha, (d) tratamento à quente, (e) compactação, (f) embalagem



Fonte: Mater (2015)

3.3 Equipamentos utilizados na produção de maravalha

Para a produção de maravalha é necessário utilizar:

- ✓ Descascadores para remover a casca das toras de madeira;
- ✓ Plaina para transformar a matéria prima em maravalha;
- ✓ Secador rotativo para secar a maravalha;
- ✓ Enfardadeira para compactar o material.

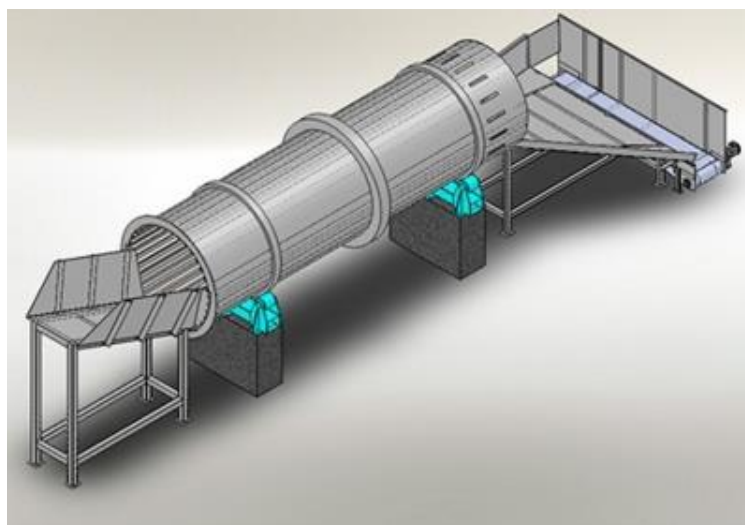
Estes equipamentos são os principais, no entanto, em uma linha de produção há mais equipamentos utilizados para auxiliar no processo como afiadores de facas, esteira transportadora, peneira vibratória, válvula rotativa, entre outros.

Há várias empresas que atua neste ramo, desenvolvendo diversos modelos para atender a demanda de pequenas e grandes empresas de maravalha, no qual, cada uma tem suas vantagens em relação à capacidade produtiva, preço ou qualidade. Portanto, a seguir se encontra uma breve descrição, de acordo com a empresa que os fabricam, de algumas plainas para fabricação de maravalhas, secadores rotativos e prensas enfardadeiras.

3.3.1 Descascadores de toras

Para a produção de maravalhas é mais comum encontrar nas indústrias o descascador de tambor rotativo (Figura 11). Este equipamento segundo Gonçalves (2000), possui grandes tambores confeccionados com perfilados metálicos contendo em seu interior arestas cortantes, no qual, as toras com casca são colocadas no interior do tambor que ao promover o movimento rotativo, faz com que haja o desprendimento da casca por causa dos golpes entre as toras e da ação das arestas cortantes.

Figura 11: Descascador de Tambor Rotaivo



Fonte: Metalcava (2015)

3.3.2 Plaina para fabricação de maravalhas

A Fortex é uma empresa pioneira e líder neste segmento de produtos para obtenção de maravalhas. Ela produz plainas que fazem maravalhas e serragens com diferentes espessuras, tendo como vantagem uma rápida montagem, armação toda em aço (possibilitando máxima força e durabilidade), redutor especial para acondicionar o funil de carga (eliminando problemas de choque e, conseqüentemente, aumentando a durabilidade da lâmina), cabeça especial dos cortadores (com excelente desempenho e alta qualidade) e saída lateral da maravalha. A empresa possui 05 modelos diferentes (Figura 12), cada uma com uma capacidade de produção específica, apresentada na Tabela 1 (FORTEX, 2015).

A empresa Krepool que trabalha no desenvolvimento e criação de máquinas para diversos setores, também trabalha com máquinas para obtenção de maravalhas de diversos tamanhos e modelos, com capacidade de produção variando entre 3 a 18 m³/h. As máquinas apresentam compactividade, baixa manutenção, movimento constante da caixa de alimentação, bom custo/benefício e rentabilidade, proteção contra a falta de fase, sobrecarga elétrica e curto circuito, motor blindado, bloqueio dos pontos de periculosidade, produzida em aço especial

com resistência e durabilidade. Ao todo a empresa possui 5 modelos diferentes, a Tabela 2 mostra as especificações técnicas de cada uma (KREPOOL, 2015).

Outra empresa que atua nesta área é a Serrate, que está há 2 anos no mercado, seu produto tem capacidade de produção média de 6 a 8 m³ e é capaz de trabalhar com madeira saca e verde (SERRATE, 2015). Esta empresa não disponibiliza a ficha técnica da máquina intitulada WA002.

Tabela 1: Especificações Técnicas das plainas Fortex

Modelo	Especificações	Potência requerida	Prod. aprox.	Tamanho da quina	Tamanho da caixa	Peso
PMF ¼	01 eixo de 450x35x3,5mm com 4 navalhas	01 motor de 7,5HP 2 Pólos 01 motor de 1,5HP 4 Pólos	3m ³ /H	2000 mm. Comprimento 1330 mm. Largura 820 mm. Altura	580 mm Com. 450 mm Larg. 400 mm Alt.	495kg
PMF 1/5	01 eixo de 550x35x3,5mm com 5 navalhas	01 motor de 10HP 2 Pólos 01 motor de 03HP 6 Pólos	3,5m ³ /H	2000 mm. Comprimento 1330 mm. Largura 820 mm. Altura	580 mm Com. 550 mm Larg. 450 mm Alt.	610kg
PMF 4/16	04 eixos de 450x35x3,5mm com 4 navalhas	02 motores de 12,5HP 2 Pólos 01 motor de 03HP 6 Pólos	8m ³ /H	2470 mm. Comprimento 1370 mm. Largura 720 mm. Altura	1100 mm Com. 450 mm Larg. 450 mm Alt.	1100kg
PMF 4/20	04 eixo de 550x35x3,5mm com 5 navalhas	02 motores de 20HP 2 Pólos 01 motor de 05HP 6 Pólos	15m ³ /H	3500 mm. Comprimento 1500 mm. Largura 830 mm. Altura	1300 mm Com. 600 mm Larg. 450 mm Alt.	1880kg
PMF 4/2400	24 navalhas	113 CV	30m ³ /H	6500 mm. Comprimento 1900 mm. Largura 2100 mm. Altura	2500 mm Com. 720 mm Larg.	4200kg

Fonte: Fortex (2015)

Tabela 2: Especificações Técnicas para os equipamentos da Krepool

FICHA TÉCNICA DE MADEIRA PARA MARAVALHA						
Item/Modelo		MVK-4/4-8	MVK-4/4-8	MVK-4/5-12	MVK-4/5-15	MVK-4/7-18
Produção Aprox	m³/h	3	8	12	15	18
Qntd. Rolos	und	1	4	4	4	4
Qntd. Facas/Rolo	und	5	4	5	5	7
Total de facas	und	5	16	20	20	28
Largura da caixa	mm	450	450	550	600	600
Comprimento da caixa	mm	580	1100	1100	1300	1100
Pot. Motor Principal	CV	1x10/2P	2X12,5/ 2P	2X15,5/ 2P	2X20/ 2P	2X20/ 2P
Pot. Motor Alimentação	KW/C V	1,1/1,5/ 4P	1,44/2/ 4P	1,44/2/ 4P	1,44/2/ 4P	1,44/2/ 4P
Peso Aproximado	Kg	850	1100	1450	1750	1900

Fonte: Krepool (2015)

Figura 12: Plainas Fortex para produção de maravalhas



Fonte: Fortex (2015)

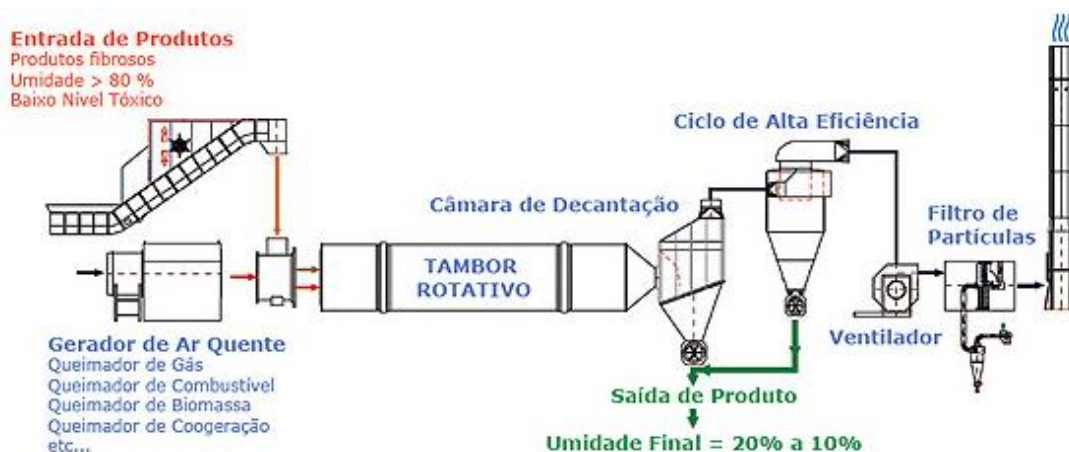
3.3.3 Secador rotativo contínuo

A Fortex fabrica secadores rotativos (Figura 14) com a função de secar a maravalha, bem como, serragem, trufas, cascas de arroz, entre outros. Este produto tem a capacidade de deixar o produto com até 5% de umidade e evitar a proliferação de fungos e doenças para animais que estarão em contato com a maravalha. Na entrada deste secador o produto normalmente se encontra com uma umidade de 30 a 40% e na saída com aproximadamente 8%. O equipamento tem pintura de esmalte sintético especial com fundo anticorrosivo para suportar altas temperaturas ($\sim 300^{\circ}\text{C}$). Atualmente a empresa possui 03 modelos de secador rotativo (Tabela 3), com diferentes capacidades produtivas (FORTEX, 2015).

A LIPPEL– Soluções Integradas para Biomassa EIRELI, indústria metalúrgica que fabrica máquinas e equipamentos agrícolas, também fornece ao mercado o secador rotativo. Este equipamento é constituído de um tambor giratório, no qual, é introduzido nele tanto o produto a ser seco como o fluido térmico de secagem (com uma temperatura em torno de 300 a 800°C). O produto sai com umidade na faixa de 10 a 15% (LIPPEL, 2015). A figura 13 ilustra a esquematização do secador rotativo.

Há também empresas como a Madec que projeta e fabrica unidades de secagem e esterilização específicas para cada cliente, no qual, ele pode colocar a umidade final desejada como um requisito do projeto (MADEC MÁQUINAS, 2015).

Figura 13: Figura esquemática do secador rotativo



Fonte: Lippel (2015)

Tabela 3: Especificações técnicas do secador rotativo FORTEX

Modelo	Diâmetro do tanque	Nº de fases de secagem	Prod. aprox.
SRF 15840	8.4m Comp. X 1.9m Altura	1	15m³/H
SRF 18700	7m Comp. X 2.5m Altura	3	18m³/H
SRF 25900	9m Comp. X 2.5m Altura	3	25m³/H

Fonte: Fortex (2015)

Figura 14: Secador Rotativo FORTEX.



Fonte: Fortex (2015)

3.3.4 Prensa enfardadeira

Com capacidade para reduzir em até 50% do volume das maravalhas, a prensa de compactar e enfardar maravalhas (Figura 15), serragem e cascas diversas da Fortex, facilita o transporte, movimentação, manuseio e segurança na armazenagem. Este é o mais novo lançamento da empresa (Tabela 4) (FORTEX, 2015). A Madec também fornece este produto ao mercado, no qual, ela é projetada

com dois níveis de compactação que permite a redução significativa do volume (MADEC MÁQUINAS, 2015)

Tabela 4: Ficha técnica da prensa enfardadeira FORTEX

Modelo	PEF 7045
Dimensão fardos prensados	700 mm. Comp. x 370 mm Larg. x 400 mm. Alt.
Produção média	100 a 120 Fardos por hora
Potência requerida	01 motor trifásico 25HP 220/380V 60Hz
Sistema hidráulico	Reservatório de 220L, bomba de Engrenagens com 3 cilindros
Sistema elétrico	Comando automático e manual com CLP de duplo efeito
Peso	2200 Kg

Fonte: Fortex (2015)

Figura 15: Prensa Enfardadeira FORTEX



Fonte: Fortex (2015)

3.4 Pellets de madeira

O pellet é um produto de pequena dimensão, normalmente no formato cilíndrico (Figura 16), constituído de material comprimido, compactado e extremamente denso, com baixo teor de umidade, elevada eficiência energética (OBERNBERGER e THEK, 2010; CARASCHI et al., 2012). Este produto apresenta uma densidade superior a 650 Kg/m^3 e um poder calorífico em torno de 4,9 a 5,4 Kwh/kg, no qual, 2 Kg de pellets de madeira substituem em torno de 1 litro de óleo combustível, tendo como vantagem o fato de não produzir fumaça durante a sua combustão (LIPPEL, 2015). Devido a sua geometria, pode-se utilizar alimentação automática nas indústrias e alimentação manual nos aquecedores residenciais. Este produto é utilizado principalmente no aquecimento industrial e residencial, e também, para a geração de energia elétrica em plantas industriais. Ele tem como vantagem o fato de ser neutro em carbono, pois o CO_2 emitido durante a queima desta biomassa é recuperado durante o crescimento de novas árvores (Figura 17), sendo considerado como uma fonte de energia limpa, pois tem baixas emissões de gases causadores do efeito estufa (COUTO et al., 2015; CARASCHI et al., 2012).

Figura 16: Pellets de Madeira



Fonte: Garcia (2010)

Figura 17: Ciclo do carbono



Fonte: Hoffelder (2011)

De acordo com Rasga (2013), teoricamente qualquer biomassa pode ser utilizada para produzir pellets. No Brasil, a madeira é a mais utilizada como matéria prima, no entanto, devido ao número de usinas de álcool e açúcar no país, o bagaço de cana (resíduo destas usinas) também é utilizado, tendo como desvantagem o alto teor de umidade e a baixa densidade, porque aumenta o custo com secagem e o custo com transporte, respectivamente (GARCIA, 2012).

É importante ressaltar que é necessário ter cuidado na utilização de resíduos como matéria prima porque, há resíduos que contêm produtos tóxicos, como madeiras tratadas, e isto inviabiliza a utilização do pellet.

3.5 Mercado de pellets

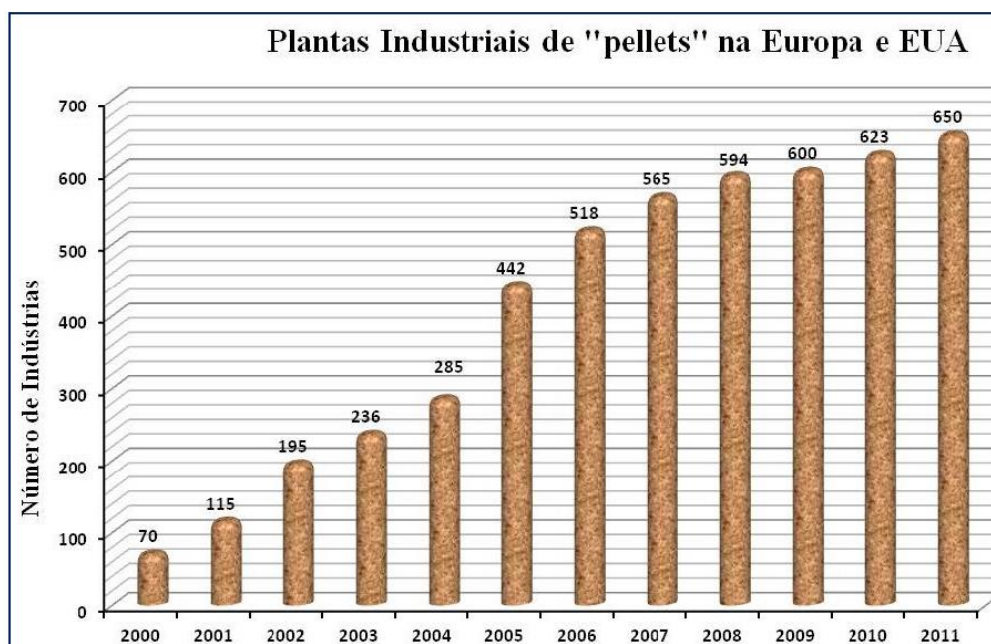
No Brasil há poucas empresas de pellets, em 2014, havia 14 empresas atuando neste ramo de acordo com uma pesquisa realizada pela ABIPEL “Associação Brasileira das Indústrias de Pellets”, e o volume de produção é considerado baixo, fator esse que interfere no fechamento de grandes contratos.

Estas empresas enfrentam problemas como: alto custo de produção, lentidão dos portos, sazonalidade do mercado, falta de incentivo do governo, entre outros (GARCIA, 2012; GRACIA, 2014).

Em contrapartida, em 2010, havia 623 plantas industriais produtoras de pellets na América do Norte e Europa, tendo uma expansão de 890% desde 2002. Nestes países, foi alcançado o equilíbrio entre a oferta e a procura, por isso, o ritmo de crescimento diminuiu ao longo dos anos, este comportamento pode ser observado na Figura 18. Estes países tem meta de redução de emissões, como por exemplo, a Europa que pretende reduzir 20% as emissões até 2020 e para isso ela tem metas agressivas para substituição de combustíveis fósseis por fontes renováveis. Outro aspecto importante é o subsídio dado pelo governo como forma de incentivo, nos Estados Unidos e Suécia há este tipo de subsídio na compra de aquecedores movidos a pellets (GARCIA e CARASCHI, 2012).

As medidas tomadas por países desenvolvidos para incentivar a utilização de pellets deve ser vista como exemplo para o Brasil, porque esta biomassa é considerada fonte de energia limpa o que beneficia o meio ambiente, e por mais que tenha outras formas de se obter energia limpa, os pellets normalmente são constituídos de resíduos da indústria madeireira, portanto, ele contribui simultaneamente para a redução destes resíduos no ambiente e para a redução de gases causadores do efeito estufa.

Figura 18: Evolução do número de indústrias de pellets



Fonte: Garcia e Caraschi (2012)

3.6 Propriedades físico-químicas dos Pellets

3.6.1 Análise do teor de umidade das amostras

O teor de umidade é inversamente proporcional ao poder calorífico do combustível, portanto, altos teores de umidade diminui o poder calorífico, causam perdas de energia, porque parte da energia libertada durante o processo de combustão é consumida na vaporização da água, causam também, baixa ignição, baixa durabilidade e menor tempo de estocagem (CARASCHI et al., 2012; CARVALHO, 2012; GARCIA, 2010).

3.6.2 Teor de materiais voláteis

De acordo com Cieslinski (2014), quanto maior for o poder calorífico de um determinado combustível maior será o seu teor de materiais voláteis. Estes materiais se volatizam rapidamente durante a queima de biomassa, diminuindo o

tempo de residência do combustível dentro do aparelho de combustão, contribuindo, portanto, para a baixa eficiência energética (OLIVEIRA et al., 2015).

3.6.3 Teor de cinzas

O teor de cinzas é constituído de impurezas como areia, terra e outros contaminantes. Ele varia em função da espécie de madeira utilizada, bem como, da parte da árvore (casca, folha, rolo), sendo que, a casca e as folhas são as que apresentam maiores teores de cinzas. Este parâmetro é importante porque se refere a uma massa que não foi queimada, gerando resíduos, sendo necessário removê-la do local de queima, outro problema está na necessidade de manutenção, pois ele é um material abrasivo que pode causar problemas de corrosão nos equipamentos (CARASCHI et al., 2012; CARVALHO, 2012; GARCIA, 2010).

3.6.4 Teor de carbono fixo

O teor de carbono fixo representa a massa restante após a saída de compostos voláteis, sem contar as cinzas e teores de umidade. Quanto maior for este teor, maior será o tempo de residência do combustível dentro do aparelho de queima (OLIVEIRA et al., 2015).

3.6.5 Poder calorífico

O poder calorífico corresponde à energia liberada, no processo de combustão, por unidade de massa do combustível (CARVALHO, 2012). Este pode ser expresso como poder calorífico superior (PCS) ou poder calorífico inferior (PCI), dependendo de como a água se encontra nos produtos, estado líquido ou gasoso, respectivamente (IDEIAS, 2008).

3.6.6 Quantidade de finos

A quantidade de finos interfere na densidade dos pellets e no transporte, e quando se encontra em grandes quantidades, podem gerar poeira durante o transporte levando a ter explosões (GARCIA, 2010).

3.7 Normas para pellets de madeira

Em 1995, os Estados Unidos começaram a utilizar como referência para os pellets produzidos, os parâmetros estabelecidos pelo PFI (Pellets Fuel Institute), sendo eles: (SP) Super Premium, (P) Premium, (S) Standard (U) e Utilitário (CARASCHI et al., 2012). Um ano depois, a norma DIN 51731 (Tabela 5) foi introduzida na Alemanha, com principal preocupação em relação ao teor de cinzas, para não ocasionar problemas de combustão (Hiegl, Janssen e Pichler, 2008).

Em 1999, de acordo com Viak (2000), foi criada a norma sueca SS187120 para os pellets de madeira, padronizando este produto em três grupos de acordo com as suas propriedades, como por exemplo, o teor de cinzas e teor de umidade. E em 2000, a legislação austríaca ÖNorm M 7135 (Tabela 6), com certificação dos pellets, assegurando altos padrões de qualidade (GARCIA,2010).

Atualmente, a ENplus, organização responsável pela certificação de empresas, define valores para a classificação dos pellets baseado na ISO 17225-2, que determina as classes de qualidade de pellets de madeira de uso industrial e não industrial, servindo como ferramenta para os negócios efetuados nesta área. Estas classes são denominadas A1, A2 e B, no qual, a classe A1 é para os pellets de madeira de mata virgem e resíduos de madeira que não passaram por tratamento químico, com baixo teor de cinzas e de nitrogênio, a A2 é para pellets com uma taxa um pouco de maior de cinzas, e a B é para resíduos florestais, casca, subprodutos e resíduos. Os valores estabelecidos para cada classe podem ser verificados na Tabela 7, bem como, a norma de ensaio para cada propriedade.

Tabela 5: Normas para pellets de madeira elaboradas na Alemanha e nos EUA

Especificação	Unidade	Alemanha					EUA			
		DIN 51731 / PLUS					Recomendações PFI			
		HP1	HP2	HP3	HP4	HP5	SP	P	S	U
Diâmetro	mm	>10	6 a 10	3 a 7	1 a 4	0,4 a 1	6,35 a 7,25			
Comprimento	mm	>30	15 a 30	10 a 15	< 10	< 5				
Densidade Abs.	kg/m ³			>600			640 a 736		608 a 736	
Finos < 3mm	%			máx. 1					≤ 0,50	
Densidade Real	kg/m ³			1,0 a 1,40						
Teor de umidade	%			<12			≤ 6	≤ 8	≤ 10	
Teor de cinzas	%			<1,5						
PCI	MJ/kg			17,5 a 19,5						
Enxofre	%			< 0,08						
Nitrogênio	%			< 0,30						
Cloro	%			< 0,03					< 0,3	
Aditivos	%			< 2					nenhum	
Durabilidade	%						≥97,5		≥95,0	

Fonte: Caraschi et al. (2012)

Tabela 6: Norma para pellets de madeira elaborada na Áustria e Suécia

Especificação	Unidade	Áustria		Suécia		
		ÖNORM M7135		SS 18 71 20		
		madeira	casca	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
Diâmetro	mm	4 a 20	20 a 120	máx. 4	máx. 5	máx. 6
Comprimento	mm	máx. 100	máx. 400			
Densidade Absoluta	kg/m ³		>600	≥600		≥500
Finos < 3mm	%		máx. 1	≤0,8		≤1,5
Densidade Real	kg/m ³		≥ 1,0			
Teor de umidade	%	≤ 12	≤ 18		≤10	≤12
Teor de cinzas	%	≤ 0,50	≤ 6,0	≤ 0,7		≤ 1,5
PCI	MJ/kg		≥ 18		≥ 16,9	
Enxofre	%	≤ 0,04	≤ 0,08		≤ 0,08	indicar
Nitrogênio	%	≤ 0,30	≤ 0,60			
Cloro	%	≤ 0,02	≤ 0,04		≤ 0,03	indicar
Aditivos	%		máx. 2 (natural)		Indicar	

Fonte: Caraschi et al. (2012)

Tabela 7: Valores limites para os parâmetros mais importantes do pellets

Propriedade	Unidade	ENplus A1	ENplus A2	ENplus B	Norma de ensaio ¹¹⁾
Diâmetro	mm	6 ± 1 ou 8 ± 1			ISO 17829
Comprimento	mm	3,15 < L ≤ 40 ⁴⁾			ISO 17829
umidade	w-% ²⁾	≤ 10			ISO 18134
Cinza	w-% ³⁾	≤ 0,7	≤ 1,2	≤ 2,0	ISO 18122
Durabilidade Mecânica	w-% ²⁾	≥ 98,0 ⁵⁾	≥ 97,5 ⁵⁾		ISO 17831-1
Finos (< 3,15 mm)	w-% ²⁾	≤ 1,0 ⁶⁾ (≤ 0,5 ⁷⁾)			ISO 18846
Temperatura dos pellets	°C	≤ 40 ⁸⁾			
PCI	kWh/kg ²⁾	≥ 4,6 ⁹⁾			ISO 18125
Densidade Aparente	kg/m ³ ²⁾	600 ≤ BD ≤ 750			ISO 17828
Aditivos	w-% ²⁾	≤ 2 ¹⁰⁾			-
Azoto	w-% ³⁾	≤ 0,3	≤ 0,5	≤ 1,0	ISO 16948
Enxofre	w-% ³⁾	≤ 0,04	≤ 0,05		ISO 16994
Cloro	w-% ³⁾	≤ 0,02		≤ 0,03	ISO 16994
Temperatura de Deformação da cinza ¹⁾	°C	≥ 1200	≥ 1100		CEN/TC 15370-1
Arsénio	mg/kg ³⁾	≤ 1			ISO 16968
Cadmio	mg/kg ³⁾	≤ 0,5			ISO 16968
Crómio	mg/kg ³⁾	≤ 10			ISO 16968
Cobre	mg/kg ³⁾	≤ 10			ISO 16968
Chumbo	mg/kg ³⁾	≤ 10			ISO 16968
Mercúrio	mg/kg ³⁾	≤ 0,1			ISO 16968
Níquel	mg/kg ³⁾	≤ 10			ISO 16968
Zinco	mg/kg ³⁾	≤ 100			ISO 16968

¹⁾ cinza produzida a 815 °C; ²⁾ tal e qual; ³⁾ base seca; ⁴⁾ Um máximo de 1% dos pellets poderá ultrapassar os 40mm. Não são permitidos pellets com mais que 45mm; ⁵⁾ No ponto de carregamento do veículo de transporte (caminhão, navio) no local da produção; ⁶⁾ Na porta da fábrica ou no carregamento de um caminhão para entregar a clientes finais (Entrega de carga total ou parcial); ⁷⁾ Na porta da fábrica, no enchimento de sacos de pellets ou de Big Bags selados; ⁸⁾ No último ponto de carregamento para entregas por caminhão ao cliente final (Entrega de carga total ou parcial); ⁹⁾ Igual ≥ 16,5 MJ/kg tal e qual, ¹⁰⁾ O teor de aditivos na produção deverá estar limitado a 1,8 w-%, sendo o teor máximo de aditivos na pós produção (ex.: óleos de revestimentos) limitado a 0,2 w-%; ¹¹⁾ Até que as normas ISO mencionadas não sejam publicadas, as análises devem ser realizadas de acordo com as normas CEN.

Fonte: ENplus (2015)

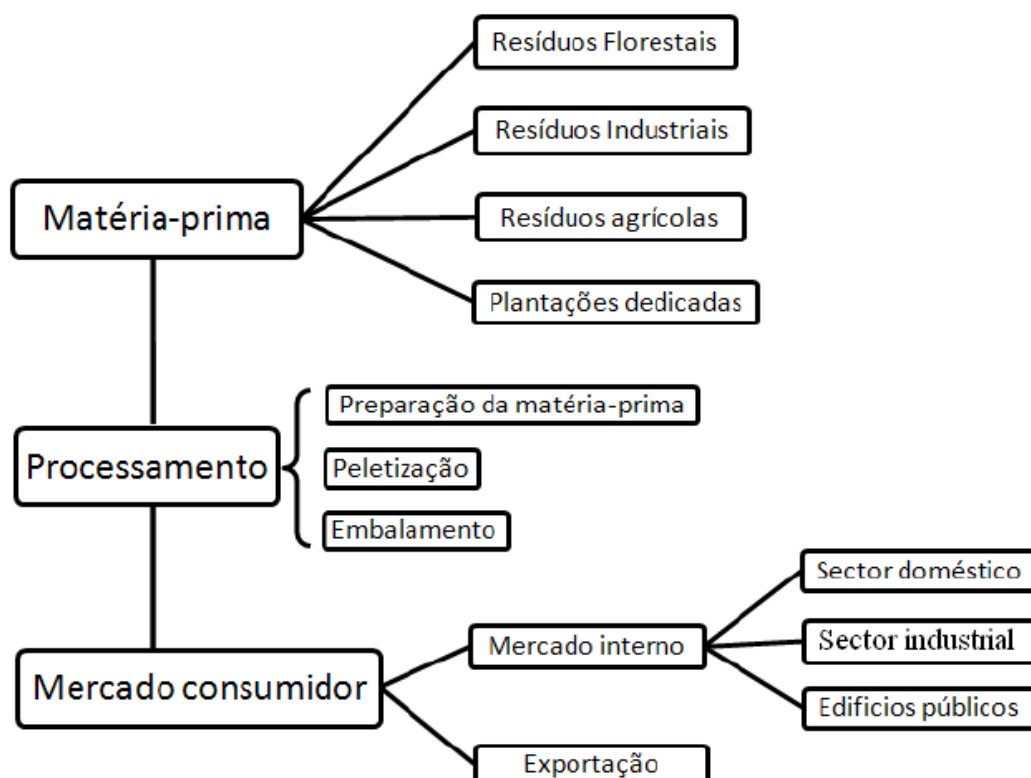
3.8 O processo de produção de pellets de madeira

Para Barbosa (2008), a produção de pellets pode ser dividida em três etapas principais (Figura 19):

- Recolha da matéria prima, que pode ser proveniente de resíduos florestais, agrícolas, industriais ou de plantações florestais de crescimento rápido;
- Processamento da matéria prima, no qual a biomassa é processada, transformada em pellets e então, armazenadas em silos; e
- Venda e distribuição de pellets, no mercado interno e externo.

A etapa de processamento pode ser subdividida da seguinte forma: uniformização das partículas, secagem da matéria prima, peletização e resfriamento do produto. Esta sequência está descrita a seguir e ilustrada na Figura 20.

Figura 19: Etapas de produção de pellets



Fonte: Barbosa (2008)

3.8.1 Uniformização das Partículas

Como a matéria prima utilizada no processo normalmente são resíduos florestais, industriais e agrícolas, é necessário uniformizar o tamanho das partículas para maior eficiência do processo e qualidade do produto, para isso, são utilizados picadores e moinhos (BARBOSA, 2008; GARCIA, 2010).

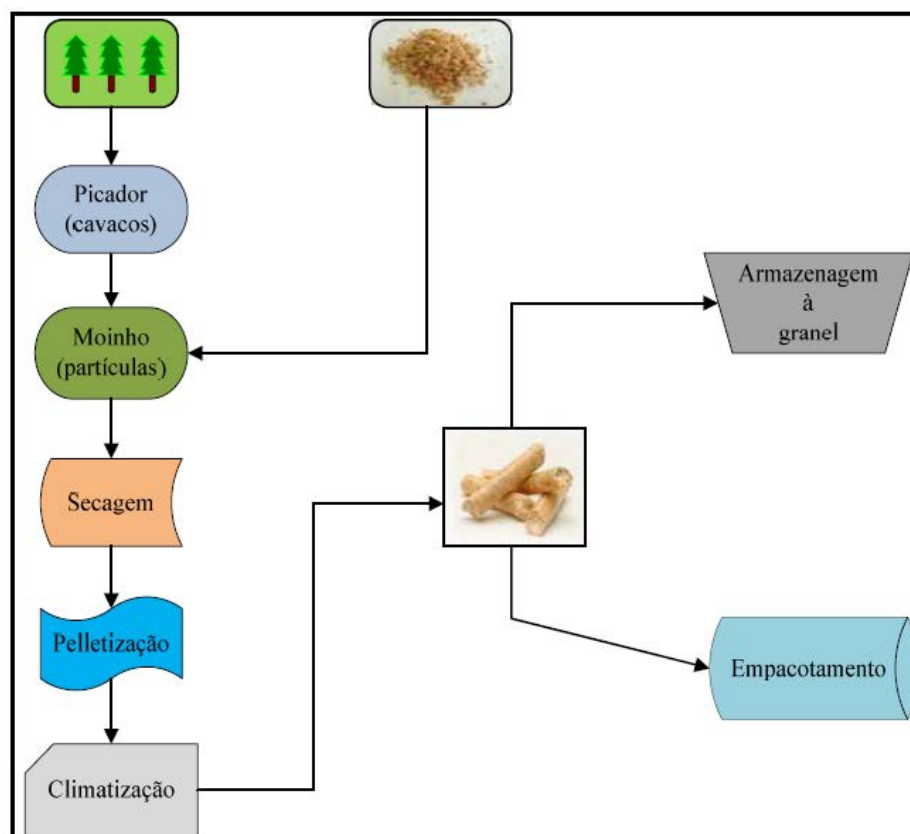
3.8.2 Secagem da Matéria Prima

Para apresentar alto poder calorífico é necessário que a matéria prima passe pelo processo de secagem para reduzir a umidade, em torno de 10% (base seca). Nesta etapa pode ser utilizados secadores de leito fluidizado, rotativos, ciclônicos ou de esteiras, sendo os dois primeiros os mais utilizados (BARBOSA, 2008; GARCIA, 2010). Este processo é importante segundo Rasga (2013), porque, se a matéria prima estiver muito seca, isso poderá ocasionar a queima da superfície do pellet, devido ao acúmulo de calor produzido pelo atrito na peletizadora. E se ela estiver muito úmida, as ligações internas das partículas poderão se enfraquecer devido a pressão do vapor aprisionado, reduzindo com isso as propriedades mecânicas, e aumentando, consequentemente, a quantidade de pellets quebradiços e poeiras.

3.8.3 Peletização

Nesta etapa, as partículas de biomassa são prensadas e, por consequência, são aglomeradas, formando os pellets. A qualidade desta aglomeração é inversamente proporcional ao tamanho das partículas. A máquina que faz este processo é denominada peletizadora, e ela pode ter matriz plana ou anelar, a que possui matriz plana tem dois ou três rolos compressores acoplados em um eixo vertical que fazem a prensagem das partículas contra a matriz formando o pellet, e a que possui matriz anelar tem dois ou três rolos e uma matriz em forma anelar, esta matriz se movimento em torno do eixo horizontal e a partícula é prensada entre os rolos e a matriz (BARBOSA, 2008).

Figura 20: Fluxograma do processo produtivo



Fonte: Garcia (2010)

3.8.4 Resfriamento do Produto

Após o processo de peletização é necessário que os pellets passem um tempo resfriando antes de ser empacotado, porque o produto sai com a temperatura em torno de 95°C, além do que esse resfriamento é necessário para a estabilização da lignina, no qual, ela se solidifica e reforça a estrutura interna dos pellets (GARCIA, 2010).

3.9 Equipamentos utilizados de pellets

Nesta seção, os equipamentos citados em cada fase do processo de produção de pellets estão descritos de acordo com as especificações técnicas fornecidas pelas empresas que os fabricam.

3.9.1 Moinho de martelo

Na primeira etapa de produção de pellets são utilizados moinhos ou picadores para uniformização da partícula, sendo o moinho de martelo o mais comum. De acordo com a Lippel (2015) este equipamento é utilizado para moagem de cavaco, cascas, serragem e demais resíduos para produção de pellets e briquetes, no qual, dentre os moinhos que ela produz, os indicados para os pellets são os moinho martelo MML 650 (Figura 21) e MML 660 (Figura 22). As especificações técnicas destes moinhos se encontram na Tabela 8 e 9, respectivamente.

Figura 21: Moinho de martelo Lippel MML 650



Fonte: Lippel (2015)

Figura 22: Moinho de martelo Lippel MML 660



Fonte: Lippel (2015)

Tabela 8: Moinho de martelo Lippel MML 650

Modelo	MML 650
Produção	1 - 3m³/h
Largura da área de moagem	300mm
Diâmetro do Rotor	650mm
Potência Requerida	25CV
Tamanho da Tela	3 - 25mm
Rotação do Motor	1750RPM
Acionamento	Motor Elétrico

Fonte: Lippel (2015)

Tabela 9: Moinho de martelo Lippel MML 660

Modelo	MML 660
Peneira Padrão	1450mm
Área da Tela	0,9 - 1,7m ²
Potência Requerida	50 - 125CV

Fonte: Lippel (2015)

A empresa GELL (Gaboardi Energia Limpa Ltda) comercializa dois tipos de moinho de martelo, no entanto, apenas um é destinado para a produção de lascas de madeira, que é o moinho de martelo MV1 (Figura 23), no qual, quanto maior o número de martelos maior é a capacidade produtiva em toneladas/hora (Tabela 10) (GELL, 2015).

Figura 23: Moinho de Martelo MV1



Fonte: Gell (2015)

Tabela 10: Especificações Técnicas do Moinho de Martelo MV1

Modelo	Número de martelos	Motor principal	Produção (Lascas de madeira úmida)
		KW	t/h
MV 130/ 72	72	110	2
MV 130/ 96	96	132	3
MV 130/ 120	120	160	4
MV 130/ 144	144	200	5

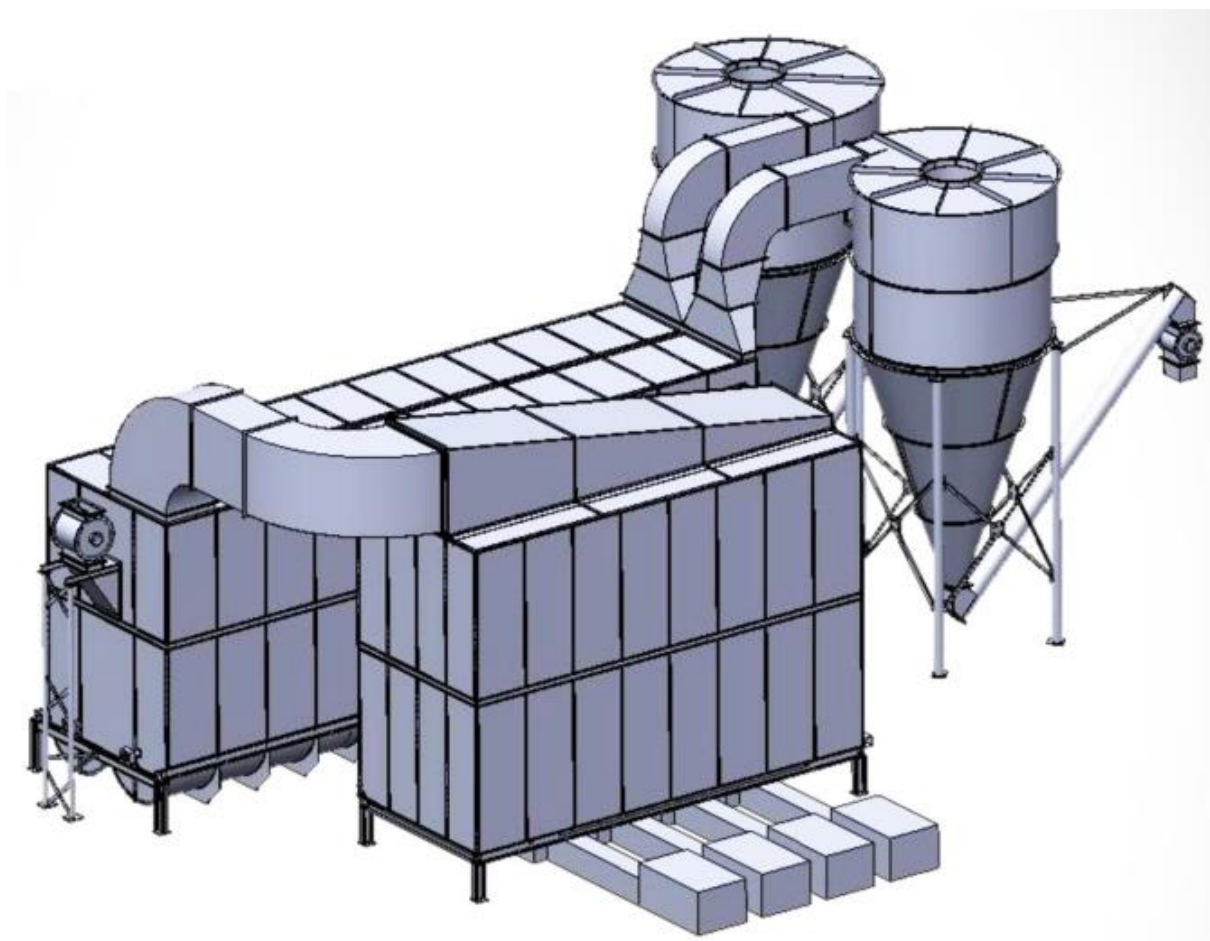
Fonte: Gell (2015)

3.9.2 Secadores

Como já foi mencionado, na etapa de secagem de partículas podem ser utilizados secadores de leito fluidizado, rotativos, ciclônicos ou de esteiras. A escolha do tipo de secador depende da fábrica que o produz, é difícil encontrar empresas que produzam dois tipos de secadores diferentes. Por exemplo, a Lippel produz o secador rotativo com modelo e especificações de acordo com o mencionado no item 3.3.2.

A GELL trabalha com o secador ECR (Figura 25), com a opção de incluir no sistema dois acessórios, sendo eles o Sistema CUC com controle contínuo da umidade e o Sistema anti-incêndio. Ela comercializa quatro modelos de secador, que diferenciam entre si pela capacidade produtiva (Tabela 11), no entanto, todos são secadores de leito fluidizado (GELL, 2015).

Figura 24: Secador ECR



Fonte: Gell (2015)

Tabela 11: Especificações Técnicas do Secador ECR - GELL

Modelo Secador	Potência térmica	Potência eletroventilador	Produção (umidade 50%)
	MJ	KW	t/h
ECR 06/ 80	8.400	30	2
ECR 08/ 10	16.800	45	3
ECR 12/ 10	25.200	75	4
ECR 15/ 12	51.5000	110	5

Fonte: Gell, (2015).

3.9.3 Peletizadora

Para que a matéria prima seja compactada e forme, conseqüentemente, o pellet, é necessário que o material passe pela peletizadora, no qual, esta máquina pode conter uma matriz plana ou anelar como discutido no item 3.8.3.

A Lippel possui os dois tipos de peletizadora, no entanto, a de matriz plana (Figura 25. a) é indicada para laboratório e institutos de pesquisa que fazem pellets de diversos resíduos e biomassas, ele produz em pequenas quantidades, como pode ser visto na Tabela 12, e contém dois rolos de pressão. A peletizadora de matriz anelar (Figura 25. b) é indicada para produção de pellets a partir de resíduos de madeira, com capacidade produtiva superior ao equipamento com matriz plana (Tabela 13) (LIPPEL, 2015).

Figura 25: Peletizadoras Lippel



Fonte: Lippel (2015)

Tabela 12: Especificações Técnica da Peletizadora PLB

Modelo	PLB
Produção	70 a 100kg/h
Potência	7,5HP
Matriz	Plana em aço liga
Diâmetro Pellets	6 - 8mm
Dimensões	1150 x 530 x 750mm
Peso	250kg

Fonte: Lippel (2015)

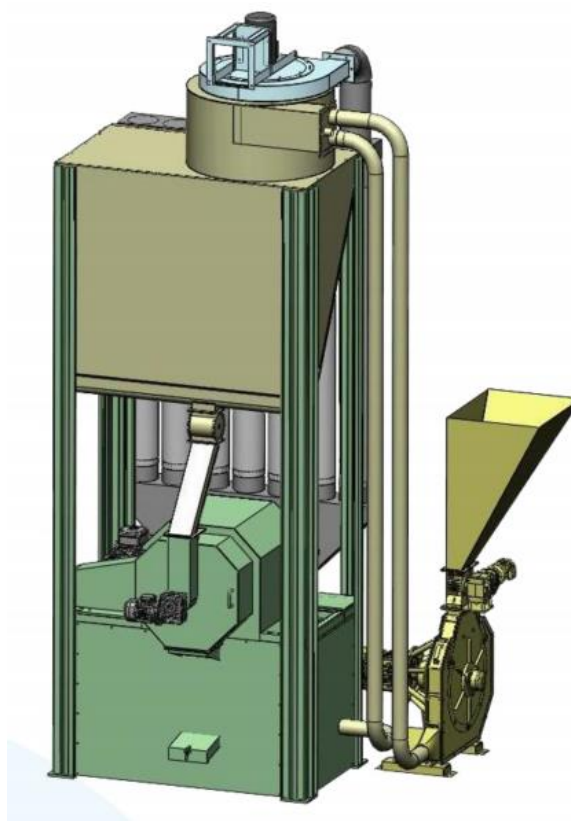
Tabela 13: Especificações Técnica da Peletizadora PVL

Modelo:	PVL
Potência Requerida	100CV
Produção	750kg/h
Diâmetro Pellets	6mm
Matriz	Anelar vertical
Acionamento	Motor Elétrico

Fonte: Lippel (2015)

Na empresa GELL dentre as peletizadoras produzidas está a prensa peletizadora comby (Figura 27) que pode conter três acessórios opcionais, como: o picador para madeira seca, moinho de martelo para refino das lascas e empacotadeira para sacos comerciais. Dentre os modelos comercializados a produção desta peletizadora pode chegar a 1 tonelada/hora (Tabela 14) (GELL, 2015).

Figura 26: Prensa Peletizadora Comby



Fonte: Gell (2015)

Tabela 14: Especificação Técnica da Prensa Peletizadora Comby

Modelo Prensa peletizadora	Potência peletizadora	Potência moinho refinador	Produção (umidade 50%)	Produção
	KW	KW	KW	Kg/h
Comby 30	15	7,5	3	200
Comby 40	40	15	4	500
Comby 50	90	37	7,5	1.000

Fonte: Gell (2015)

3.9.4 Resfriadores

Antes dos pellets serem empacotados é necessário que eles passem por um resfriamento, já que eles saem da peletizadora com uma temperatura alta. Para isso, as empresas utilizam resfriadores, que como o próprio nome sugere, são responsáveis por deixar o produto com temperatura ambiente.

A empresa GELL produz para esta finalidade um resfriador contracorrente (Figura 27), ele pode vir com divisor intermediário, sistema anti-incêndio e distribuidor motorizado de pellets. A GELL fornece 12 modelos diferentes, no qual o diferencial entre elas é a capacidade produtiva, como pode ser visto na Tabela 15.

Tabela 15: Especificações Técnicas do Resfriador Contracorrente

Modelo	Extrator	Pellet	Capacidade de produção
	KW	Ø mm	t/h
RFC 13/13	1,5	2,5-12	3
RFC 13/13-D	1,5	2,5-12	3
RFC 13/18	1,5	2,5-12	5
RFC 13/18-D	1,5	2,5-12	5
RFC 22/18	2,2	2,5-12	10
RFC 22/18-D	2,2	2,5-12	10
RFC 22/22	2,2	2,5-12	15
RFC 22/22-D	2,2	2,5-12	15
RFC 22/26	2,2	2,5-12	20
RFC 22/26-D	2,2	2,5-12	20
RFC 26/30	2,2	2,5-12	25
RFC 26/30-D	2,2	2,5-12	25

Fonte: Gell (2015)

Figura 27: Resfriador Contracorrente Gell



Fonte: Gell (2015)

4 ASPECTOS CONCLUSIVOS

Para a produção de pellets de madeira podem ser utilizadas como matéria prima as maravalhas (cavacos) provenientes de resíduos da indústria madeireira, construção civil, e demais processos, ou então, utilizar maravalhas produzidas por plainas específicas para a produção deste produto. Os dois métodos apresentam vantagens e desvantagens, no primeiro caso, há um aproveitamento de resíduos contribuindo com a redução do desperdício e com o meio ambiente, no entanto, este resíduo pode conter alto teor de umidade, o que exige gastos com a secagem, ele pode conter também impurezas e finos, fator que aumenta o teor de cinzas e o teor de finos dos pellets, respectivamente, e isto não é interessante porque para exportar deste produto, a ENplus determina uma quantidade máxima para qualificá-lo. No segundo caso, não há gasto com transporte, porque a produção de maravalhas e pellets são integrados em uma mesma unidade fabril, garantindo a qualidade da matéria prima, obtendo com isso, propriedades físico-químicas adequadas aos parâmetros de exportação, a desvantagem está no aumento do custo de produção, já que se exige um maior espaço físico, maior número de máquinas e consequentemente um maior número de colaboradores na empresa.

Portanto, para montar uma empresa de pellets, o primeiro passo consiste em estabelecer o objetivo daquela produção, pois, se o empreendedor quer produzir pellets em grande escala para a exportação, o ideal é que ele integre a produção de maravalha com a produção de pellets, no entanto, se ele deseja produzir pellets para consumo próprio e/ou para abastecer o mercado interno, o interessante de acordo com o aspecto econômico e ambiental é que ele aproveite os resíduos de madeira, pois para ambos os casos não há tantas exigências em relação as propriedades físico-químicas. Após esta etapa, tem que pesquisar os equipamentos necessários para a produção, baseado na capacidade produtiva desejada, analisando a capacidade de cada equipamento e comparando-os, por exemplo, não adianta ter um secador de partículas que seca 4 t/h se o moinho de martelo tem capacidade de 2 t/h, pois será um gasto desnecessário, e se for o inverso, secador (2/h) e moinho de martelo (4/t), irá criar um gargalo na produção porque o secador não irá atender a demanda.

Estas conclusões são baseadas na ampla pesquisa bibliográfica feita para a realização deste estudo sistematizado, podendo ser feito no futuro análises físico-químicas dos pellets produzidos com resíduos para efeito comparativo com os pellets destinados a exportação, bem como, um estudo de viabilidade econômica para a produção de pellets, comparando os dois métodos de produção, porque com isso, as conclusões teóricas serão complementadas com uma análise quantitativa dos dados.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1988). NBR – 6162/88– **Conceito da Técnica de Usinagem, Movimentos e Relações Geométricas– Terminologia**. São Paulo.

BARBOSA, M T C. **Análise da utilização de biomassa e resíduos florestais para a produção de pellets**. 2008. 103 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade de Aveiros, 2008.

BRACELPA. **Pinus**. Disponível em: <<http://bracelpa.org.br/bra2/?q=node/137>>. Acesso em: 30 set. 2015.

CARASCHI, J C; PINHEIRO, D G; VENTORIM, G. Caracterização física e química dos pellets de madeira produzidos no Brasil. **XIII Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira**. Vitória, 9 p. jul. 2012

CARVALHO, N P R. **Implantação do plano de controlo, inspecção e ensaio na produção de pellets de madeira**. 2011. 43 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Tecnologia Ambientais, Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseus, 2011.

CIESLINSKI, J. E. F. **Study the issue and controlo f gases and particles from biomass burning**. 2014. 157 f. Thesis (Doctare in Mechanical Engineering) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2014.

COUTO, L.; MÜLLER, M. D.; SILVA JR., A. G.; CONDE, L. J. N. **Produção de Pellets de Madeira - O caso da bio-energy no Espírito Santo**. Disponível em: <<http://www.renabio.org.br/005-B&E-v1-n1-2004-45-52.pdf>> Acesso em: 4 de out de 2015.

DINIZ, A. E.; MARCONDES, F. C.; COPPINI, N. L.; **Tecnologia da Usinagem dos Materiais**. 5. Ed., São Paulo: Artliber Editora, 2006.

EUROPEAN PELLET COUNCIL- EPC(Ed.). Parte 3: Requisitos de Qualidade do Pellet. In: EPC. **Sistema de Certificação de Qualidade para Pellets de Madeira**. Bélgica: ENplus Handbook, 2015. p. 10.

FORTEX. **Mercados de maravalha**. Disponível em:

<<http://www.fortex.ind.br/br/mercados.php>>. Acesso em: 28 set. 2015.

FRAMAQ. **Maravalha de madeira: uma alternativa sustentável**. Disponível em:

<<http://www.fragmaq.com.br/blog/biomassa/maravalha-de-madeira/>>. Acesso em: 30 set. 2015.

FRANZOI FERRAMENTAS INDUSTRIAIS E COMÉRCIO LTDA (Rio Grande do Sul). **Catalogo de Fresas. Caxias do Sul**. [?]. 42 p.

GARCIA, D. P. **Caracterização química, física e térmica de pellets de madeira produzidos no Brasil**. 2010. 101 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – FEG/UNESP – Campus de Guaratinguetá. Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá. 2010.

GARCIA, D. P.; CARASCHI, J. C. As indústrias de pellets no Brasil. **Revista da Madeira**, v. 133, p. 18-19, 2012.

GARCIA, D.P.; CARASCHI, J.C. **Pellets de Madeira: Mercado em crescimento**. Disponível em:

<http://www.paginasustentavel.com.br/index.php?option=com_content&view=article&id=491:pellets-de-madeira-mercado-em-crescimento&catid=8:artigos&Itemid=17>.

Acesso em: 01 setembro 2015.

GELL. **Máquinas para peletização**. Disponível em:

<<http://www.gell.ind.br/produtos.php>> Acesso em: 4 out. 2015.

GONÇALVES, M. T. T., **Processamento da Madeira**, 1.ed. Bauru: Document Center Xerox - USC, 2000. 242p.

GONÇALVES, M. T. T.; RUFINO, R. T. Aproveitamento de resíduos gerado na indústria madeireira. In: III ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 1989, São Carlos, **Anais...**

GONÇALVES, M. T. T.; SOUZA, A. J. D.; BARBOSA, J. C. Geração de Resíduos em Estruturas de Pinus. In: VII ENCONTRO BRASILEIRO EM E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 2002, Uberlândia, **Anais...**

HIEGL, W; JANSSEN, R; PICHLER, W. **Development and promotion of a transparent European Pellets Market Creation of a European real-time Pellets Atlas (PELLETS@LAS):** Advancement of pellets-related European standards. European Pellet Standards, 2009. 26 p. Disponível em: <<https://ec.europa.eu/energy/intelligent/projects/en/projects/pelletslas>>. Acesso em: 25 set. 2015.

HOFFELDER, J. **Pelletes de bagaço de cana de açúcar na matriz energética.** 2011. 51 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Química, Universidade do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

IDEIAS, P M C. **Influência da matéria volátil na combustão de biomassa em leito fluidizado.** 2008. 158 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia do Ambiente, Ambiente e Ordenamento, Universidade de Aveiros, 2008.

KOCH, P. **Wood Machining Process.** New York: Ronald Press Company, 1964. 530p.

KREPOOL. **Máquinas para maravalha.** Disponível em: <<http://krepool.ind.br/produtos/maquinas-p-maravalha.html>> Acesso em: 18 set. 2015.

LIPPEL. **Soluções Integradas para Biomassa.** Disponível em: <<http://www.lippel.com.br/>> Acesso em: 4 out. 2015.

MADEC MÁQUINAS. **Maravalha.** Disponível em: <<http://www.madecmaquinas.com.br/segmentos/5>> Acesso em: 3 out. 2015.

MARAVALHA ROSSA. **O que é maravalha.** Disponível em: <<http://www.maravalharossa.com/>>. Acesso em: 20 set. 2015.

MATER. **A Maravalha.** Disponível em: <<http://matermaravalha.com.br/produto-maravalha.php>>. Acesso em: 20 set. 2015.

METALCAVA. **Descascador de Toras a Tambor.** Disponível em: <<http://www.metalcava.com.br/produto-detalle/71/03--descascador-de-toras-a-tambor>>. Acesso em: 3 out. 2015.

NAHUZ, Marcio Augusto Rabelo, **Brazilian and exotic timber**, Caxias do Sul, RS: Lettech Editora e Gráfica, 2007. 108p.

OBERNBERGER, I; THEK, G. **The Pellet Handbook**: The Production and Thermal Utilization of Biomass Pellets. New York: Routledge, 2010. 290 p.

OLIVEIRA, B. F. H; BARBOSA, A. P. P; SANTOS, O. R; PAULA; MELO, D. R; SILVA, D. C; BERGE, G; ALFAIA, N; CORRÊA, N; FRANÇA, L. F. Características energéticas da casca da amêndoa de dendê (*Elaeis guineensis*) e carbono fixos. **14º Encontro de Profissionais da Química da Amazônia: A Atuação dos profissionais da química entre os desafios atuais**, Belém, p.129-135, ago. 2015.

RASGA, R O S. **Pellets de madeira e sua viabilidade econômico-financeira na substituição do óleo BPF-A1 em pequenos e médios consumidores no Estado de São Paulo**. 2011. 165 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agroenergia, Fundação Getúlio Vargas, São Paulo, 2013.

SANTI INDÚSTRIA E COMÉRCIO DE FERRAMENTAS E MÁQUINAS Ltda (Paraná). **Soluções em ferramentas de corte para madeira**. São José dos Pinhais [?]. 49 p. Catalogo

SERRATE. **O que é maravalha**. Disponível em: <<http://www.serrate.com.br/?pagina=maravalha>>/. Acesso em: 28 set. 2015.

VIAK, A. **Wood pellets in Europe** - State of the art, technologies, activities, markets. Asplan Viak, AEBIOM, FastBränslePannor, Lambelet Heizungssysteme, Technische Universität München, Umdasch AG, Whitfield Gmbh, UMBERA. Part of the Thermie B project. 2000.