

Universidade Estadual de Maringá
Centro de Tecnologia
Departamento de Informática

**FORMAS DE APROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS
DA MADEIRA**

Paulo Henrique Fernandes de Abreu

TG-EP- 44- 05

Maringá - Paraná

Brasil

Universidade Estadual de Maringá
Centro de Tecnologia
Departamento de Informática

FORMAS DE APROVEITAMENTO DO RESÍDUO DA MADEIRA

Paulo Henrique Fernandes de Abreu

TG-EP - 44- 05

Trabalho de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia de Produção, do Centro de Tecnologia, da Universidade Estadual de Maringá.

Orientador: Prof(o). Carlos de Barros Jr

**Maringá - Paraná
2005**

PAULO HENRIQUE FERNANDES DE ABREU

APROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS DA MADEIRA

Monografia apresentada como requisito parcial para obtenção do Título de *Bacharel em Engenharia de Produção*, pela Universidade Estadual de Maringá, Campus de Maringá, aprovada pela Comissão formada pelos professores:

Prof.(o) Dr. Carlos de Barros Jr
(Orientador)
Colegiado de Engenharia Química,
UEM

Prof.(a) Rosângela Bergamasco
(Membro)
Colegiado de Engenharia de Química,
UEM

Prof.(o) Lázaro Ricardo Gomes
Vallim
(Membro)
Colegiado de Engenharia de
Produção, UEM

Maringá, 14 de dezembro de 2005

AGRADECIMENTOS

À Universidade Estadual de Maringá e seu qualificado corpo docente, pelos anos de aprendizado técnico e por me ensinar o verdadeiro sentido da palavra “companheirismo”.

Ao orientador, prof.(o) Carlos de Barros Jr pela sua dedicação à UEM, ética e valores serviram de exemplos e, seus conselhos, me direcionaram na elaboração deste trabalho.

Aos professores e funcionários do departamento de Engenharia de Produção Química, pelo convívio gratificante em todos estes anos.

Dedico,

Aos meus pais, Jorge Antonio de Abreu (in memorian) que sei de onde olha por mim e Sinéia Fernandes de Abreu, minha fortaleza, pelo constante apoio, incentivo e reconhecimento. Minha eterna gratidão.

Aos meus irmãos Jorge Vinícius Fernandes de Abreu e Hugo Rafael Fernandes de Abreu, pela alegria que me proporcionaram com a convivência familiar.

Resumo	6
1. Conceitos gerais	7
1.1 Resíduos sólidos	7
1.1.2 Resíduos vegetais.....	8
1.1.3 Geradores de resíduos vegetais.....	9
1.2 Norma aplicada a este tipo de resíduo	10
1.3 Classificação dos resíduos	10
1.3.1 Resíduos classe I – Perigosos	11
Inflamabilidade	11
Corrosividade.....	11
Reatividade	12
1.3.2 Resíduos classe II – Não perigosos	15
1.3.3 Classificação dos resíduos da madeira	15
1.4 Caracterização dos resíduos da madeira	16
1.4.1 Características biológicas	16
1.4.2 Características físicas.....	16
1.4.3 Características químicas	18
1.5 Reciclagem	20
1.5.1 Conceitos	20
1.5.2 Classificação de reciclagem.....	21
1.6 Reciclagem/aproveitamento de madeira	22
1.6.1 Reciclagem primária da madeira	22
1.6.2 Reciclagem secundária da madeira.....	22
1.6.3 Reciclagem terciária da madeira.....	24
1.6.4 Reciclagem quaternária ou energética	24
2. O aproveitamento do resíduo para com a produção de briquete	27
2.1 Histórico	28
2.2 Definição	28
2.2.1 Características	29
2.3 Vantagens	30
2.3.1 Vantagens do briquete em ralação a lenha convencional	30
.....	30
2.4 Mercado	31
2.4.1 Mercado internacional	31
2.4.2 Comercialização	32
2.4.3 Preços de venda	32
2.5 Industrialização.....	33
2.5.1 Estrutura necessária para a industrialização	33
. 2.5.2 Processo produtivo.....	34
2.5.3 Fluxograma do processo produtivo	40
3 Conclusão	41
4 Bibliografia	42

Lista de Figuras

Figura 1: Área de estoque de serragem	32
Figura 2: Transportador de correia	33
Figura 3: Silo horizontal	33
Figura 4: Silo vertical	34
Figura 5: Briquetadeira do tipo pistão	35
Figura 6: Briquetadeira por extrusão	36
Figura 7: Peletizadora	37

Resumo

As indústrias madeireiras têm tido dificuldade com o manuseio e disposição final dos seus resíduos sólidos, que são muito volumosos e formam verdadeiras montanhas nos pátios dessas empresas. No trabalho proposto serão estudadas as leis e normas que regem o resíduo da madeira, como também as principais técnicas de aproveitamento e industrialização.

A técnica escolhida será a industrialização dos resíduos, através de uma tecnologia que produz uma lenha denominada Briquete. Esta lenha, além de suas vantagens ambientais, possui um poder calorífico maior que a convencional e esta sendo muito usada nas indústrias e comércio, com perspectivas para o mercado externo também, o que pode gerar uma boa rentabilidade e ao mesmo tempo resolver o problema do resíduo.

1. Conceitos gerais

1.1 Resíduos sólidos

“A noção de **resíduo** não existe na natureza, declara BIDONE (2001). Esta afirmação é fundamentada pelos grandes ciclos naturais em que, comumente, o papel do decompositor é transformar e incorporar completamente as matérias descartadas pelos outros componentes do sistema, sem alterar o equilíbrio natural. Assim, a noção de resíduo como elemento negativo causador da degradação da qualidade ambiental, é de origem antrópica e, em geral, aparece quando a capacidade de absorção natural pelo meio no qual está inserido é ultrapassada”. (NAGASHIMA, 2004)

Sob a ótica econômica, resíduo é definido como uma matéria sem valor, isto é, os valores de uso e de troca são nulos ou negativos para seu detentor ou proprietário.

Pela definição oficial, segundo a norma brasileira NBR 10004, de 2004, resíduos sólidos são:

“aqueles resíduos nos estados sólidos e semi-sólidos, que resultam de atividades da comunidade de origem industrial, doméstica, hospitalar comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição o lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis em face a melhor tecnologia disponível”.

Essa definição torna evidente a diversidade e complexidade dos resíduos sólidos.

Os resíduos sólidos de origem urbana (RSU) compreendem aqueles produzidos pelas inúmeras atividades desenvolvidas em áreas com aglomerações humanas, abrangendo resíduos de várias origens, como residencial, comercial, de estabelecimento de saúde, industriais, da limpeza pública, da construção civil e finalmente os agrícolas. Dentre os vários RSU gerados, são normalmente encaminhados para disposição em aterros sob responsabilidade do poder municipal os resíduos de origem domiciliar ou aqueles com características similares, como os comerciais e os resíduos de limpeza pública.

No caso dos resíduos comerciais, estes podem ser aceitos para coleta e disposição no aterro desde que autorizado pelas instituições responsáveis pelo Gerenciamento Intergrado de Resíduos Sólidos Urbanos (GIRSU). Ressalta-se que o gerenciamento de resíduos de origem não domiciliar, como é, por exemplo, o caso dos serviços de saúde ou da construção civil, que são igualmente de responsabilidade do gerador, estando sujeito a legislação específica vigente. (CASTILHOS JR, 2003)

1.1.2 Resíduos vegetais

Os resíduos sólidos orgânicos de origem vegetal, particularmente após os tratamentos químicos que recebem para utilização na indústria madeireira, constituem uma fonte de elevados impactos ambientais sobre o meio físico, particularmente sobre os mananciais hídricos superficiais e subterrâneos e sobre os meios biológico e sócio-econômico. O impacto ocorre com a geração de chorume, a emissão de gases e maus odores resultantes dos processos de fermentação e decomposição, a geração de sais inorgânicos e de metais tóxicos. Produz ainda a corrosão de equipamentos componentes da infra-estrutura das instalações.

Atualmente reconhecem-se as características de heterogeneidade e anisotropia das madeiras, e que são os principais fatores a determinar variações nas indústrias e por conseqüência, nos resíduos sólidos que produzem. O comprometimento ambiental gerado pela gestão inadequada de resíduos sólidos da indústria madeireira é reconhecido tanto pela comunidade científica como pelas autoridades sanitárias e pela população em geral.

Logo, a contribuição de alternativas tecnológicas que viabilizem menor impacto ambiental sobre os meios físico, biótico e sócio-econômico que constituem o meio ambiente, é uma necessidade urgente para a melhoria de qualidade de vida das populações sem a perda de renda particularmente nos pequenos empreendimentos industriais. (www.remade.com.br)

Os resíduos vegetais, ou agrícolas, são compostos fundamentalmente de celulose e podem ser preparados de forma relativamente fácil para a obtenção de energia devido a pouca umidade e a facilidade de serem pré-processados. Devido a essa facilidade em serem preparados, os resíduos vegetais prestam-se a outros usos, os quais competem com o uso

energético. Alguns desses usos são: matéria-prima para obtenção de papel; fertilizante (melhora características físicas do solo e a capacidade de retenção de umidade); aglomerados para compensados; complemento para a ração de animais;

Para aplicações energéticas, onde se requer a disponibilidade contínua da biomassa é preciso levar-se em conta que os resíduos vegetais se caracterizam por sua disponibilidade sazonal e precisariam de armazenamento por longos períodos. Isso pode torná-los onerosos e alterar suas características devido a processos de fermentação que normalmente ocorrem devido a estocagem. (www.resol.com.br)

1.1.3 Geradores de resíduos vegetais

O Brasil é o segundo maior produtor mundial de madeira tropical. O Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia IMAZOM, em pesquisa divulgada em maio deste ano, realizou uma espécie de sociologia da indústria madeireira na Amazônia, trazendo dados importantes sobre o setor. No ano de 2004, essa indústria consumiu 24,5 milhões de metros cúbicos de madeira em toras, o que equivaleria a cerca de 6,2 milhões de árvores.

Com esses números, o Brasil só perde em produção de madeiras em toras para a Indonésia, que consome anualmente 30 milhões de metros cúbicos de madeira. Toda essa matéria-prima gerou 10,4 milhões de metros cúbicos de madeira processada em formato de tábuas, laminados e compensados, nos 82 pólos madeireiros existentes na região. O estado do Pará responde por 45% desse total de madeira produzida, concentrando 51% das indústrias madeireiras. As serrarias, laminadoras e fábricas de compensados paraenses geram 48% dos empregos desse setor na Amazônia. Cerca de 5% da população economicamente ativa da chamada Amazônia Legal (território que inclui todos os estados da região Norte, além do Mato Grosso e parte do estado do Maranhão) trabalha direta ou indiretamente com a atividade madeireira. O estado do Mato Grosso, por sua vez, concentra 33% da produção, Rondônia contribui com 15% e o restante se distribui entre os demais estados (o estado do Amazonas detém somente 2% da produção regional). (<http://www.comciencia.br/reportagens>)

As indústrias de fabricação de produtos de madeira e móveis no País são bastante pulverizadas. Segundo o Ministério do Trabalho e Emprego (MTE), no ano de 2000 a cadeia de madeira e móveis tinha 24.364 estabelecimentos, sendo 15.540 ligados à fabricação de móveis e os demais voltados ao processamento da madeira. Nas atividades de processamento de madeira, a grande maioria dos estabelecimentos estava ligada ao desdobramento da madeira. No segmento de fabricação de artigos do mobiliário, os móveis com predominância de madeira representaram 85% dos estabelecimentos em 2000. O número de estabelecimentos formais da indústria moveleira é bastante diferente do número total de estabelecimentos existente. Conforme a Associação Brasileira das Indústrias do Mobiliário (Abimóvel), o número total de empresas produtoras de móveis, incluindo as informais, deve chegar a 50 mil empresas. (<http://www17.dialdata.com.br/emobile2>)

1.2 Norma aplicada a este tipo de resíduo

A legislação ambiental cada vez mais severa induz a uma nova postura em toda dimensão do setor, incluindo a adequada gestão de resíduos sólidos. Uma das principais alternativas que era a incineração dos resíduos encontra-se oficialmente proibida em muitas regiões do país, com muitas autuações de empresas que insistem nesta prática. De acordo com a Resolução do CONAMA Nº 237, de 19 de dezembro de 1997, a própria atividade poluidora deverá promover o tratamento e disposição final de seus resíduos, logo, o empreendimento não deverá colocar dificuldades para realizar determinadas ações, pois é seu dever fazê-las. Inicialmente as serrarias deverão identificar empreendimentos que utilizem, ou possam vir a utilizar, resíduo de madeira em seus processos produtivos como matéria-prima.

1.3 Classificação dos resíduos

Segundo CASTILHOS JR (2003) há vários tipos de classificação dos resíduos sólidos que se baseiam em determinadas características ou propriedades identificadas. A classificação é relevante para a escolha da estratégia de gerenciamento mais viável. A norma NBR 10004, de 2004, trata da classificação de resíduos sólidos quanto a sua periculosidade, ou seja, características apresentadas pelo resíduo em função de suas propriedades físicas, químicas,

ou infectocontagiosas, que podem representar potencial de risco à saúde pública e ao meio ambiente. De acordo com sua periculosidade os resíduos sólidos podem ser enquadrados como:

1.3.1 Resíduos classe I – Perigosos

São aqueles que apresentam periculosidade, ou uma das características seguintes: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade.

Inflamabilidade

Um resíduo sólido é caracterizado como inflamável, se uma amostra representativa dele, obtida conforme a ABNT NBR 10007, apresentar qualquer uma das seguintes propriedades:

- a) - ser líquida e ter o ponto de fulgor inferior a 60°C, determinado conforme ABNT NBR 14598 ou equivalente, excetuando-se as soluções aquosas com menos de 24% de álcool em volume;
- b) - não ser líquida e ser capaz de, sob condições e temperaturas e pressão de 25°C e 0,1 Mpa (1 atm), produzindo fogo por fricção, absorção de umidade, ou por alterações químicas espontâneas e, quando inflamada, queimar vigorosa e persistentemente, dificultando a extinção do fogo;
- c) - ser um oxidante definido como substância que pode liberar oxigênio e, como resultado, estimular a combustão e aumentar a intensidade do fogo em outro material;
- d) - ser um gás comprimido inflamável, conforme Legislação Federal sobre transporte de produtos perigosos (Portaria nº 204/1997 do Ministério dos Transportes).

Corrosividade

Um resíduo sólido é caracterizado como inflamável, se uma amostra representativa dele, obtida conforme a ABNT NBR 10007, apresentar qualquer uma das seguintes propriedades:

- a) - ser aquosa e apresentar pH inferior ou igual a 2, ou, superior ou igual a 12,5, ou sua mistura com água, na proporção de 1:1 em peso, produzir uma solução que apresente pH inferior a 2 ou superior ou igual a 12,5;
- b) - ser líquida ou, quando misturada em peso equivalente de água, produzir um líquido e corroer o ácido (COPANT 1020) a uma razão maior que 6,35 mm ao ano, a uma temperatura de 55 °C, de acordo com USEPA SW 846 ou equivalente.

Reatividade

Um resíduo sólido é caracterizado como inflamável, se uma amostra representativa dele, obtida conforme a ABNT NBR 10007, apresentar qualquer uma das seguintes propriedades:

- a) - ser normalmente instável e reagir de forma violenta e imediata, sem detonar;
- b) - reagir violentamente com água;
- c) - formar misturas potencialmente explosivas com a água gerar gases, vapores e fumos tóxico em quantidades suficientes para provocar danos à saúde pública ou ao meio ambiente quando misturados à água;
- d) - possuir em sua composição os íons CN⁻ ou S²⁻ em concentrações que ultrapassem os limites de 250 mg de HCN liberável por quilograma de resíduos ou 500 mg de H₂S liberável por quilograma de resíduos, de acordo com ensaio estabelecido no USEPA – SW 846;
- e) - ser capaz de produzir reação explosiva ou detonante sob a ação do forte estímulo, ação catalítica ou temperatura em ambientes confinados;
- f) - ser capaz de produzir prontamente, reação ou decomposição detonante ou explosiva a 25°C e 0,1 Mpa (1 atm);

- g) - ser explosivo, definido como uma substância fabricada para produzir um resultado prático, através de explosão ou efeito pirotécnico, esteja ou não esta substância contida em dispositivo preparado para este fim.

Toxidade

Um resíduo sólido é caracterizado como inflamável, se uma amostra representativa dele, obtida conforme a ABNT NBR 10007, apresentar qualquer uma das seguintes propriedades:

- a) - quando o estrato obtido desta amostra, segundo a ABNT NBR 10005, contiver qualquer um dos contaminantes em concentrações superiores aos valores constantes no anexo F. Neste caso, o resíduo deve ser caracterizado como tóxico com base no ensaio de lixiviação, com código de identificação constante no anexo F;
- b) - possuir uma ou mais substâncias no anexo C e apresentar toxidade. Para avaliação dessa toxidade, devem ser consideradas os seguintes fatores:
- • Natureza da toxidade apresentada pelo resíduo;
 - • Concentração do constituinte no resíduo;
 - • Potencial que o constituinte, ou qualquer produto tóxico de sua degradação, tem para migrar do resíduo para o ambiente , sob condições impróprias do manuseio;
 - • Persistência do constituinte ou qualquer produto tóxico de sua degradação;
 - • Potencial que o constituinte, ou qualquer produto tóxico de sua degradação, tem para degradar-se em constituintes não perigosos, considerando a velocidade em que ocorre a degradação;
 - • Extensão em que o constituinte ou qualquer produto tóxico de sua degradação, é capaz de bioacumulação nos ecossistemas;
 - • Efeito nocivo pela presença de agente teratogênico, carcinogênico, mutagênico, ou ecotóxico, associadas a substâncias isoladamente ou decorrente do sinergismo entre as substâncias constituintes do resíduo;

- c) - ser constituída por restos de embalagens contaminadas com substâncias constantes nos anexos D e E;
- d) - ser comprovadamente letal ao homem;
- e) - produzir substância em concentrações comprovadamente letais ao homem ou estudos dos resíduos que demonstrem uma DL50 oral para ratos menor que 50 mg/Kg ou CL 50 inalação para ratos menor que 2 mg/L, ou uma DL50 dérmica para coelhos menor que 200 mg/Kg.

Patogenicidade

- a) Um resíduo é caracterizado como patogênico se uma amostra representativa dele, obtida segundo a ABNT NBR 10007, contiver ou se houver suspeita de conter microorganismos patogênicos, proteínas virais, ácido dextrorribonucléico (ADN) ou ácido ribonucléico (ARN) recombinantes, organismos geneticamente modificados, plasmídeos, cloroplastos, mitocôndrias ou toxinas capazes de produzir doença em homens, animais ou vegetais.
- b) Os resíduos de serviços de saúde deverão ser classificados conforme ABNT NBR 128078. Os resíduos gerados nas estações de tratamento de esgotos domésticos e os resíduos sólidos domiciliares, excetuando-se os originários na assistência à saúde de pessoa ou animal, não serão classificados segundo os critérios de patogenicidade.

1.3.2 Resíduos classe II – Não perigosos

Resíduos classe II A – Não inertes

Aqueles que não se enquadra na classificação de resíduos classe I – Perigosos ou de resíduos classe II B – Inertes, nos termos desta Norma. Os resíduos classe II A – Não inertes podem ter propriedades, tais como: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.

Resíduos classe II B – Inertes

Quaisquer resíduo que, quando amostrados de uma forma representativa, segundo a ABNT NBR 10007, e submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou desionizada, à temperatura ambiente, conforme ABNT NBR 10006, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados à concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza, e sabor, conforme anexo G.

1.3.3 Classificação dos resíduos da madeira

É tido como resíduo aquilo que sobra de um processo de produção industrial ou exploração florestal.

Segundo Fontes (1994) o extinto IBDF (Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal) e a Universidade Federal do Paraná classificaram os resíduos em três tipos distintos, ou seja:

a) **serragem** - resíduo originado da operação de serras, encontrado em todos os tipos de indústria, à exceção das laminadoras.

b) **cepilho** - conhecido também por maravalha, resíduo gerado pelas plainas nas instalações de serraria/beneficiamento e beneficiadora (indústrias que adquirem a madeira já transformada e a processam em componentes para móveis, esquadrias, pisos, forros, etc.).

c) **lenha** - resíduo de maiores dimensões, gerado em todos os tipos de indústria, composto por costaneiras, aparas, refilos, resíduos de topo de tora, restos de lâminas. (DUTRA e NASCIMENTO, 2003)

1.4 Caracterização dos resíduos da madeira

1.4.1 Características biológicas

A madeira é um produto do tecido xilemático dos vegetais superiores, localizado no tronco e no galho das árvores, com células especializadas na sustentação e condução de seiva. Em termos comerciais, a madeira somente é encontrada em árvores com altura superior a 6m.

O xilema é um tecido característico das plantas superiores, incluídos arbustos, cipós e árvores, constituídas de fibras, elementos de vasos, traqueídeos, raios e parênquima axial.

A casca é constituída pelo ritidoma, periderme e floema, e tem a função de conduzir a seiva elaborada. O câmbio é um tecido meristemático que gera novos elementos circulares. Os anéis de crescimento representam o incremento anual da árvore, enquanto o cerne e alburno representam as porções que vão se tornando mais resistentes da madeira e que constituem alvo preferencial da exploração. Os raios e a medula armazenam as substâncias nutritivas.

1.4.2 Características físicas

Massa específica

“A massa específica é um dos principais índices de qualidade da madeira e, segundo, BRASIL (1972) os métodos que se apóiam na massa específica básica, são os que mais satisfatoriamente medem a quantidade de substância madeira por unidade de volume”. (VALE, 2000)

Segundo artigo publicado em www.ceud.ufms.br: A densidade é uma das propriedades que mais fornecem informações sobre as características da madeira. Há uma correlação positiva entre a densidade e as propriedades mecânicas da madeira. Além disso, a densidade é correlacionada às características de trabalhabilidade (pior), durabilidade natural (maior) e impregnabilidade da madeira (menor), entre outras.

Quanto à variação da densidade, principalmente em árvores de climas tropicais, nota-se uma ampla faixa de variação, desde valores próximos a $0,20\text{g/cm}^3$ até extremos, que podem chegar a $1,30\text{g/cm}^3$. Existem ainda variações entre árvores de uma mesma espécie, afetadas, principalmente, por fatores genéticos e ambientais.

Conforme dados extraídos do site www.engwhere.com.br/engenharia, temos a densidade de algumas variedades de árvores:

Massa específica da madeira (15% de umidade)

- Ipê Preto: $0,96\text{t/m}^3$
- Ipê Amarelo: $1,3\text{t/m}^3$
- Peroba: $0,78\text{t/m}^3$
- Eucalipto: $0,78$ a $0,95\text{t/m}^3$
- Pinho: $0,54\text{t/m}^3$.

Poder calorífico

“O poder calorífico de um corpo é a quantidade de calor liberada pela combustão de uma unidade de massa desse corpo, e pode ser expresso em calorias por grama ou quilocalorias por quilograma”, DOAT (1977). O autor definiu, ainda, o poder calorífico superior (PCS) como aquele em que a combustão se efetua a volume constante e no qual a água formada durante a combustão é condensada.

Para BRITO (1986), a variação do poder calorífico superior da madeira está entre 14.561Kj/Kg e 20.930Kj/Kg .

KOLLMANN e CÔTÉ (1968) relataram que o poder calorífico médio para as madeiras situa-se em torno de 18.837Kj/Kg a 0% de umidade”. (VALE, 2000)

Dados do site <http://myspace.eng.br> mostram que os resíduos da madeira como o cavaco (que são os resíduos maiores triturados ou pequenos resíduos) e a serragem possuem um poder calorífico semelhante em torno de 2500 Kcal/Kg.

Umidade

Toda e qualquer árvore, e por isso, a sua madeira, contém uma certa quantidade de água, dependendo da sua espécie, estrutura, localização e outros fatores.

Define-se umidade da madeira como o rácio entre o peso de água nela contido, e o peso dessa madeira absolutamente seca, isto é, sem água alguma. Este rácio é máximo enquanto a árvore está viva, e mínimo quando deixamos que a água se evapore até ao nível mínimo, de longo prazo. Em algumas espécies a retenção de água é absolutamente espantosa chegando a mais de 200 %. (http://www.jular.pt/materia_especies_secagem.asp).

1.4.3 Características químicas

Segundo dados da Fundação Centro de Tecnologia de MG, 1982, a madeira é composta, principalmente, de carbono, hidrogênio e oxigênio. Existem ainda, o nitrogênio e os sais minerais, os quais, juntos, não representam 1%. A umidade pode variar. Para a lenha verde atinge (40 a 50)%. A lenha utilizada na fornalha de geradores costuma conter (38 a 40)% de água. A lenha seca ao ar pode reduzir sua umidade até a 20%. Existem pequenas variações nas informações obtidas de diversos autores, mas que não podem ser consideradas como conflitantes, como visto na Tabela I, que mostra a composição elementar da madeira, segundo diversos autores.

Tabela I – Análise elementar da madeira

Composição, %	1	2	3	4	5-a	5-b	Média
Carbono	50,0	48,5	50,0	40,0	40,0	50,0	46,9
Oxigênio	44,0	43,0	43,5	34,2	34,0	42,5	40,8
Hidrogênio	6,0	6,0	6,0	4,8	4,8	6,0	5,7
Nitrogênio	<1,0		0,1		0,4	0,5	0,3
Cinzas			0,4	1,0	0,8	1,0	0,8
Água				20,0	20,0		20,0

a – madeira seca ao ar**b – madeira anidra**

Dentre essas composições a madeira consiste principalmente de três polímeros: celulose, hemicelulose e lignina numa proporção de aproximada de 50:20:30. As demais componentes da madeira presentes em menor quantidades são compostos de baixo peso molecular chamados extrativos, encontrado notadamente na casca e englobando terpenos, óleos, graxas e corantes. A quantidade de cada componente, especialmente a lignina e hemicelulose, varia entre as madeiras folhosas e coníferas, outros fatores, tais como espécie e idade, também podem influenciar a composição química.

A celulose é o polissacarídeo mais abundante na natureza. Sua cadeia se constitui de unidades de glicose, unidas através de ligações 1-beta, 4-glicosídicas, resultando num polímero de alto peso molecular (300000 - 500000). As cadeias de celulose nas paredes celulares das plantas são arranjadas compactamente, de modo que suas fibras apresentam regiões nitidamente cristalinas, alias uma consequência do número grande de ligações de hidrogênio que resulta numa forte interação entre suas moléculas.

As hemicelulose, presentes na madeira em menor grau de polimerização (peso molecular 25000-35000), envolvem as fibras de celulose principalmente, em razão de apresentar

várias unidades de açúcares diferentes de cinco ou seis átomos de carbono. Três grupos de hemicelulose apresentam-se nas plantas, as xilanas, galactoglucomanas e as arabinogalactanas. A lignina, outro componente da madeira, é um polímero amorfo e heterogêneo, que envolve os polissacarídeos da madeira. Caracterizam-se pelo elevado número de grupos OCH_3 e de grupos OH . Sua estrutura química difere conforme seja originária de madeira folhosa ou coníferas.

1.5 Reciclagem

1.5.1 Conceitos

Para TEIXEIRA E ZANIN (1999), num sentido amplo, a reciclagem de materiais pode ser definida como o processo através do qual os constituintes de um determinado corpo ou objeto passam, num momento posterior, a ser componentes de outro corpo ou objeto, semelhante ou não ao anterior. Neste sentido, trata-se de um fenômeno de larga ocorrência no ambiente natural, e imprescindível para a manutenção da vida como se apresenta na Terra. Na maioria das vezes, tal processo é denominado apenas como ciclagem (ciclagem de nutrientes, ciclos biogeoquímicos), embora o prefixo **re** enfatize seu caráter recorrente. Ainda segundo os autores, considera-se a reciclagem como uma das etapas essenciais no gerenciamento integrado dos resíduos sólidos de uma comunidade. Trata-se de uma das formas complementares de minimização desses resíduos (junto com a redução na fonte e a reutilização), mas pode ser também considerada como um modo de tratamento dos mesmos. Na prática, consiste em se encaminhar para as unidades específicas de processamento, objetos que iriam para uma deposição final, correta ou não. Em virtude da variabilidade dos materiais presentes, a reciclagem acarreta a necessidade de separação dos seus tipos, o que pode ocorrer em diferentes graus e momento.

Entre os benefícios da reciclagem temos: diminui a quantidade de lixo a ser aterrado (conseqüentemente aumenta a vida útil do aterros sanitários); preserva os recursos naturais;

economiza energia, diminui a poluição do ar e das águas; gera empregos através da criação de indústrias recicladoras. (CASTILHOS JR, 2003)

1.5.2 Classificação de reciclagem

Segundo TEIXEIRA E ZANIN (1999) a reciclagem pode ser classificada segundo alguns critérios, os quais podem variar em função do material. Numa classificação mais geral pode-se considerar, por exemplo, as seguintes categorias:

- **Reciclagem primária:** é o processo de um resíduo para fabricação de um produto com características similares ao original. Enquadra-se neste grupo a reciclagem que ocorre internamente em uma fábrica (também chamada de reciclagem industrial), com o reaproveitamento de aparas, sobras, peças defeituosas ou fora de especificação. Os produtos gerados neste caso são considerados como produtos reciclados, pois normalmente há uma mistura com a matéria prima original. Uma característica desta reciclagem é a baixa contaminação do material.
- **Reciclagem secundária:** é o processamento de resíduos com obtenção de produtos diferentes do original. Esta associada, em geral, a um nível maior de contaminação. É o caso típico da reciclagem a partir dos resíduos sólidos urbanos, também chamada reciclagem pós-consumo. No caso dos materiais plásticos, por exemplo, as reciclagens primárias e secundárias, que são realizadas por meio de procedimentos semelhantes, são também referidas como reciclagem mecânica.
- **Reciclagem terciária:** implica na obtenção, a partir de um produto, dos componentes químicos básicos do mesmo (no caso dos plásticos, por exemplo, os derivados de petróleo originais). É obtida por processos como pirólise e hidrólise, entre outros, sendo também denominada reciclagem química. A compostagem de resíduos orgânicos enquadra-se, de certo modo, nesta categoria.
- **Reciclagem quaternária:** é a utilização do conteúdo energético dos materiais, através de sua queima ou incineração. Também conhecida como reciclagem energética, difere das anteriores por não gerar novos produtos que incorporem os materiais já

utilizados. Neste sentido, apesar do nome, não é propriamente uma reciclagem, mas sim um reaproveitamento de materiais.

1.6 Reciclagem/aproveitamento de madeira

1.6.1 Reciclagem primária da madeira

No caso da madeira podemos citar como exemplo de reciclagem primária o artesanato e produção de pequenos artefatos de madeira produzidos com as sobras de pedaços de madeira que são produtos de mesma composição, sem contaminação que não se enquadram nos padrões exigido pela industria.

Artesanato

O projeto de lei que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, em sua Seção VIII institui a política de incentivos fiscais e financeiros às instituições que promovam reutilização e reciclagem de resíduos. Neste contexto, destaca-se o potencial da indústria madeireira, onde “percentual da matéria-prima desperdiçada é grande, e com grande frequência, os resíduos e refugos são destinados à queima”.

A produção de peças de artesanato pode atingir dimensões industriais (Rocha, 2002), em estratégias de parceira ou contextos de bancos de resíduos.(www.remade.com.br).

1.6.2 Reciclagem secundária da madeira

Para os resíduos da madeira é a reciclagem, em que, apesar de não diferir muito das propriedades originais, os resíduos são transformados em aglomerados para fins como painéis e pisos.

Painéis de Madeira Aglomerada

Segundo informações de www.remade.com.br 2005, as chapas de madeira aglomerada são fabricadas com partículas de madeira ou outros materiais, aglutinados por meio de uma resina e, em seguida, prensados. Durante o processo de produção, são adicionados diversos produtos químicos para evitar o mofo, a umidade, o ataque de insetos e aumentar a resistência ao fogo.

As principais fontes de matérias-primas utilizadas pelas fábricas de madeira aglomerada são resíduos industriais, resíduos de exploração florestal, madeiras de qualidade inferior não industrializáveis de outra forma, madeira proveniente de trato cultural de florestas plantadas e reciclagem de madeira sem serventia. No Brasil, a madeira de florestas plantadas, especialmente de eucalipto e pinus, constitui a fonte mais importante de matérias-primas.

A madeira aglomerada possui múltiplas aplicações, dentre as quais se destacam a fabricação de móveis, tampos de mesas, laterais de portas e de armários, divisórias, laterais de estantes e, de forma secundária, a indústria de construção civil.

Produção de Papel

Em alguns países, restos de madeira procedentes de clareamento madeira tratadas são usados na fabricação de pasta de papel (www.remade.com.br, 2003), processo pouco comum no Brasil, devido a facilidade climática de obtenção de matéria-prima pelo reflorestamento.

1.6.3 Reciclagem terciária da madeira

Segundo TEIXEIRA E ZANIN (1999), esta reciclagem implica na obtenção, a partir de um produto, dos componentes químicos básicos do mesmo.

Compostagem

Ainda segundo os autores e conforme foi citado em **1.5.2**, a compostagem se enquadra na categoria deste tipo de reciclagem.

Segundo o Manual Prático para a Compostagem de Biossólidos, a compostagem pode ser definida como uma bioxidação aeróbia exotérmica de um substrato orgânico heterogêneo, no estado sólido, caracterizado pela produção de CO₂, água, liberação de substâncias minerais e formação de matéria orgânica estável.

Na prática, isto significa que à partir de resíduos orgânicos com características desagradáveis (odor, aspecto, contaminação por microorganismos patogênicos...), o processo transforma estes resíduos em composto, que é um insumo agrícola, de odor agradável, fácil de manipular e livre de microorganismos.

Os componentes orgânicos biodegradáveis passam por etapas sucessivas de transformação sob a ação de diversos grupos de microorganismos, resultando num processo bioquímico altamente complexo.

1.6.4 Reciclagem quaternária ou energética

Deu-se início ao enfoque principal do trabalho, que é o aproveitamento energético dos resíduos da madeira através da produção de briquete, mas para isto serão citadas as opções de aproveitamento para fins energéticos.

Carvão vegetal

Quando a lenha é submetida à ação de calor em temperaturas relativamente elevadas (a partir de 300 graus Celsius), ela sofre um processo de transformação no qual todos os seus componentes são extensivamente modificados até se transformarem em carvão vegetal.

Nos processos convencionais de carbonização, onde existe presença controlada de ar, ocorre sempre a queima de uma parte da lenha que está sendo carbonizada, pois o calor gerado por esta queima será responsável pela transformação da lenha em carvão vegetal.

A lenha é composta, basicamente, de carbono, oxigênio e hidrogênio. Estes três elementos se combinarão de três maneiras diferentes, formando três compostos de estrutura relativamente complexa, que são: celulose, hemicelulose e lignina. Durante o aquecimento estes compostos são degradados, deixando um resíduo rico em carbono, o qual chamamos carvão.

O composto que mais contribui para a formação do carvão vegetal é a lignina, pois os outros praticamente se degradam totalmente na temperatura de carbonização, ao contrário da lignina.

Devido à complexidade das reações não existe uma equação descritiva do processo.

Os cálculos estequiométricos mostram que os teores de carbono e oxigênio na lenha são de 49,5% e 44,0% respectivamente. Após a carbonização estes elementos participam no carvão em diferentes proporções, ou seja, carbono com aproximadamente 82,1% e oxigênio com 13,7%. A reação de carbonização consiste basicamente em concentrar carbono e expulsar oxigênio, com conseqüente aumento energético do produto. O forno túnel possui três compartimentos, cada um deles com finalidade específica, qual seja: No primeiro compartimento se processará a secagem da lenha; no segundo compartimento se processará a transformação da lenha em carvão e finalmente no terceiro compartimento se processará o esfriamento do carvão.

Etanol obtido da madeira

O processo tecnológico de produção de etanol a partir de matéria celulósica pode ser esquematicamente dividida em três fases: Extração de açúcares a partir da matéria prima;

fermentação alcoólica dos açúcares; destilação e retificação do álcool contido na cerveja resultante da fermentação.

A matéria prima utilizada pela COALBRA é a madeira (inicialmente eucalipto), cuja estrutura molecular complexa requer a transformação de seus polissacarídeos (celulose e hemicelulose) em açúcares mais simples que são fermentados posteriormente pelas leveduras.

O processo adotado para a obtenção de açúcares a partir da madeira foi a hidrólise ácida que consiste na aplicação de solução de ácido sulfúrico ao cavaco de madeira sob condições de alta pressão e temperatura.

Em função da presença de produtos tóxicos a levedura, o hidrolisado é submetido a uma seqüência de tratamentos que o transforma em um padrão adequado para a atividade de levedura de fermentação alcoólica.

Em resumo, pode-se dividir em quatro fases a etapa de transformação do hidrolisado em mosto para a fermentação:

- **VAPORIZAÇÃO:** em que ocorre o desprendimento da fração rica em furfural e um resfriamento inicial do hidrolisado.
- **NEUTRALIZAÇÃO:** em que o pH do hidrolisado que é da ordem de 1,5 é levado a níveis mais adequados a atividade da levedura, mediante a adição de leite e cal.
- **FILTRAÇÃO:** em que o sulfato de cálcio que se formou na fase anterior e as matérias orgânicas em suspensão são removidas para evitar incrustações em fases posteriores do processo.
- **RESFRIAMENTO:** em que o hidrolizado filtrado a cerca de 95 graus Celsius é resfriado até 30 a 32 graus Celsius, que é a temperatura adequada à fermentação alcoólica.

O etanol é obtido a partir da fermentação dos açúcares por leveduras. As células de leveduras presentes no mosto fermentado são separadas por centrifugação recicladas no processo.

A lignina que permanece nos hidrolisadores após a saída dos açúcares é descarregada com uma umidade de 96% e em seguida secada para a utilização como combustível na caldeira.

Lenha, cavaco e serragem

São reaproveitados de maneira comum, havendo apenas o processo de retirada de umidade, que pode ser ao ambiente, e queimados geralmente em caldeiras e termoelétricas.

Como foi citado anteriormente, possuem um poder calorífico próximo de 2500 Kcal/Kg.

2. O aproveitamento do resíduo para com a produção de briquete

Foi escolhido como área principal do trabalho, o aproveitamento dos resíduos da madeira através da produção de briquete como uma das soluções para o problema energético do país e do mundo.

Em 1981, a FAO - Food Agriculture Organization of United Nation diagnosticava que aproximadamente 30% do território brasileiro se encontrava em situação de crise com relação à disponibilidade de lenha. Isto significa que os recursos desse material eram inferiores às necessidades, obrigando a sociedade a uma exploração florestal excessiva. Esta exploração, superior à capacidade de reposição da floresta, faz com que a lenha não seja uma fonte energética renovável. Segundo ainda a FAO, 25 a 30% do território brasileiro evoluem para a mesma situação no ano 2000.

Nesta última, década o quadro só se agravou. O Governo Brasileiro vem incentivando a substituição de derivados de petróleo por fontes alternativas de energia, como a lenha.

Entretanto, a sua produção não está sendo estimulada na mesma proporção.

A produção de carvão vegetal em 1989, segundo o Balanço Energético Nacional de 1990, foi de 12.268 milhões de toneladas, enquanto o consumo de lenha no Brasil em 1989 atingiu 105,5 milhões de toneladas. Se considerarmos que de todas as tipologias florestais de onde provém esta lenha ocorra um rendimento médio de 200 estéreos por hectare, a que cada estéreo tenha 300kg, este consumo de lenha corresponderia a uma área de 1.758 milhões de hectares de florestas.

Uma das formas de preservar melhor nossos mananciais silviculturais é utilizá-los mais racionalmente, aproveitando-os com um índice de rendimento cada vez maior.

Outra forma seria substituir a lenha por um produto equivalente. Podemos compactar resíduos ligno-celulósicos em geral (pó de serra, maravalhas, casca de arroz, palha de milho, sabugo, bagaço de cana, etc.) a obter briquetes com qualidade superior a qualquer lenha.

“A briquetagem é uma forma bastante eficiente para concentrar a energia disponível da biomassa, pois 1,00 m³ de briquetes contém de 2 a 5 vezes mais energia que 1,00 m³ de resíduos. Isso, levando-se em consideração a densidade a granel e o poder calorífico médio desses materiais. Devido à dimensão a às grandes distâncias internas do país, o aspecto concentração energética assume também grande importância”

QUIRINO (1991).

2.1 Histórico

A técnica da briquetagem, que surgiu nos Estados Unidos no século XIX, desenvolveu-se em vários países da Europa, inclusive na Alemanha, cuja tecnologia é utilizada hoje no Brasil, através da fabricação, inicialmente em Santa Catarina, da briquetadeira da marca Biomax, adotada em várias empresas brasileiras na conversão da matéria-prima em briquete. (<http://www.fiec.org.br/publicacoes/jornalfiec/edicoes/0603>)

2.2 Definição

O briquete é o resultado da compactação de pó de serra, sem aditivos químicos ou resinas, que possui um poder de combustão de duas a cinco vezes maior do que a lenha e o carvão, além de outros combustíveis comuns.

A briquetagem é a densificação do resíduo da madeira que através da compactação a elevadas pressões, o que provoca uma elevação da temperatura do processo da ordem de 100 °C. Esse aumento da temperatura provocará a "plastificação" da lignina, substância que atua como elemento aglomerante das partículas de madeira, justificando a não utilização de produtos aglomerantes (resinas, ceras, etc). (www.remade.com.br)

É uma alternativa energética resultante do processo de secagem e prensagem da serradura, que possui um alto poder calorífico, ideal para utilização em caldeiras industriais e fornos de padarias, pizzarias, cerâmicas, lareiras, entre outros. O produto também determina o fim do desperdício das sobras de madeira. Assim, o que antes era lixo e ainda poluía o meio ambiente, agora, com seu reaproveitamento, virou energia.

(<http://www.nacbriquetes.com.br>)

Processo de briquetagem é o aproveitamento e compactação de resíduos vegetais para uso de produção de energia. Os resíduos vegetais podem ser serragem, bagaço de girassol, palha de milho, casca de arroz, casca de uva, restos de madeira etc.

2.2.1 Características

Temos abaixo algumas características do briquete:

- Umidade em torno de 12 %
- Carbono Fixo 13,6 %
- Cinzas 2%
- Materiais Voláteis 84,4 %
- Poder Calorífico kg/cal 4.650
- Densidade 1000 a 1300 kg/m³
- Consumo 20 a 60 kwh/t
- Regularidade térmica

2.3 Vantagens

Produto especialmente fabricado para atender a indústria que precisa alimentar fornalhas, caldeiras e padarias, o briquete substitui com vantagens a lenha, reduzindo custos, facilitando transporte, manipulação e armazenamento. Seu formato cilíndrico padronizado reúne uma alta densidade de resíduos de madeira prensada (subproduto industrial), sem qualquer aditivo químico ou aglutinante, com grande poder calorífico. Além de proporcionar economia de energia elétrica, a nova lenha ecológica contribui diretamente para o controle do desmatamento e o fim da poluição causada pelas raspas de madeira antes jogadas no lixo. (<http://www.fiec.org.br/publicacoes/jornalfiec/edicoes/0603>)

Segue abaixo uma listagem das principais vantagens desse produto:

- Menor manutenção regular em grelhas e fornalhas.
- Menor custo direto e indireto.
- Podem ser usados em caldeiras, lareiras, padarias, pizzarias, cerâmicas, etc
- São fornecidos em embalagens padronizadas.
- Devido a baixa umidade a temperatura se eleva rapidamente.
- Não danifica a fornalha no manuseio de abastecimento.
- Produto 100% reciclado e ecológico.
- Menor necessidade de estoque, uma vez que o produto é seco e pronto para a queima.
- Maior higiene e melhor aparência, ideal para a indústria alimentícia.
- Formato geométrico facilita o transporte, manipulação e armazenamento.

2.3.1 Vantagens do briquete em relação a lenha convencional

No quadro abaixo são citados algumas vantagens do briquete em relação a lenha convencional:

Tabela 1: Quadro comparativo entre briquete e lenha convencional

	Briquete	Lenha
Dimensões	Padrão	Irregular
Regulamentação do IBAMA	Não é necessário a reposição da madeira ao meio ambiente	É obrigatória a reposição florestal
Cinzas geradas	Pequenas quantidades (em torno de 2%)	Grandes quantidades (variando entre 10 e 30 %)
Umidade	10 a 14%	30 a 40%
Poder Calorífico	Entre 4500 e 5000 Kcal/Kg	Entre 2000 e 2500 Kcal/Kg
Armazenagem	Pequenos espaços	Grandes espaços
Poluição	Índice médio	Alto índice
Queima	Regular	Irregular
Disponibilidade	Em ascensão	Em declive

2.4 Mercado

Os consumidores finais ocupam um lugar de destaque na comercialização do briquete. O uso de briquetes está associado à preservação ambiental, pois aproveita resíduos e substitui a lenha e o carvão vegetal. Nos grandes centros, capitais e grandes cidades, o briquete tem seu papel destacado, competindo diretamente com a lenha e o carvão vegetal. Na cidade de São Paulo, por exemplo, existem 5.000 pizzarias e 8.000 padarias das quais aproximadamente 70% utilizam fornos a lenha. Atualmente, os fabricantes de briquetes não têm produto suficiente para atender este mercado em sua totalidade. Uma pizzaria ou padaria utiliza em média o equivalente a 4 toneladas de briquete por mês. Para abastecer apenas a região metropolitana da cidade de São Paulo, necessita-se de 36.400 toneladas por mês de briquetes, o equivalente a 254.800 metros cúbicos de lenha por mês. (www.resol.com.br, 2005)

2.4.1 Mercado internacional

A França está interessada em tecnologia para geração de energia limpa a partir de biomassa, desenvolvida no Brasil. As negociações para um futuro acordo estão sendo feitas por representantes do Laboratório de Produtos Florestais do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama) e do Centro de Cooperação Internacional de Pesquisa Agronômica para o Desenvolvimento (Cirad) - órgão francês equivalente à Embrapa. O pesquisador Alfredo Napoli, do Cirad, explica que o centro tem a intenção de comprar tecnologia brasileira para transferir a países da África, que foram colônias francesas. "A missão do Cirad é contribuir para o desenvolvimento social e econômico. "Segundo ele, além das alternativas de energia limpa, há interesse no carvão ativo, em outras opções para despoluir águas e também em intercâmbio científico entre os dois países. O Brasil quer ajuda da França para conquistar mercado na União Européia para seus produtos que possam substituir em parte a energia fóssil e a nuclear. *"Nossas tecnologias podem contribuir para reduzir a emissão de gás carbônico, grande problema das tecnologias tradicionais"*, garante Waldir Ferreira Quirino, do Ibama. (inventabrasilnet.t5.com.br/briquete.htm)

2.4.2 Comercialização

Segundo pesquisas em algumas empresas do ramo, o briquete tem sido comercializado das seguintes maneiras:

- Sacos de ráfia de 10 a 40 Kg
- Caixas com 6 unidades
- Caixas com 20 unidades
- Embalagens para exportação com 1000 Kg

2.4.3 Preços de venda

O preço do briquete varia de R\$ 170 a R\$ 200 por tonelada. Na verdade, se for comparado com a lenha é mais barato porque ele tem o poder calorífico maior. Quer dizer, precisa de mais lenha do que briquete para obter a mesma quantidade de calor.

(<http://infoener.iee.usp.br/infoener/hemeroteca/imagens/71217.htm>)

Segundo o site de vendas da empresa Nac Briquetes os preços do briquete são os seguintes:

Tipo 1: Sacos padrão com média de 38 a 40 Kg = R\$ 18,00

Tipo 2: Sacos padrão com média de 30 a 32 Kg = R\$ 14,00

Tipo 3: Sacos padrão com média de 25 a 27 Kg = R\$ 12,00

2.5 Industrialização

Para se iniciar o processo de implantação de uma indústria de briquetes é necessário fazer um estudo da região onde se quer montar, verificar se há matéria - prima suficiente para abastecer a fábrica e se esta matéria - prima é constante ou sazonal. É necessário que a região escolhida tenha uma demanda de resíduos de pelo em torno de 20 tn/dia para que a implantação seja viável.

2.5.1 Estrutura necessária para a industrialização

Para a implantação de uma indústria com uma capacidade de processamento de 1200 Kg/h são necessário os seguinte investimentos iniciais:

	Capacidade	Custo (R\$)
Área de 4000 m ³	150 ton.	Imóvel próprio
Uma briquetadeira	1200 Kg/h	60000
Um silo	4000 Kg	8000
Um secador	600 Kg	12000
Um triturador	1000 Kg/h	10000
Serviço de pá carregadeira	Indefinida	3000 no 1º mês
7 funcionários	Indefinida	5000
Capital de giro:	150 ton.	5000
	Total	103000

2.5.2 Processo produtivo

- Transporte da serragem até o silo úmido

A serragem que normalmente é disposta em grandes pátios, necessita de um meio de transporte de grande capacidade para ser levada até o picador se necessário a granulação. Para isso é indicado o uso de uma pa carregadeira ou esteiras de transporte. Na **figura 1** temos um exemplo de um pátio de uma área a céu aberto de estoque de serragem

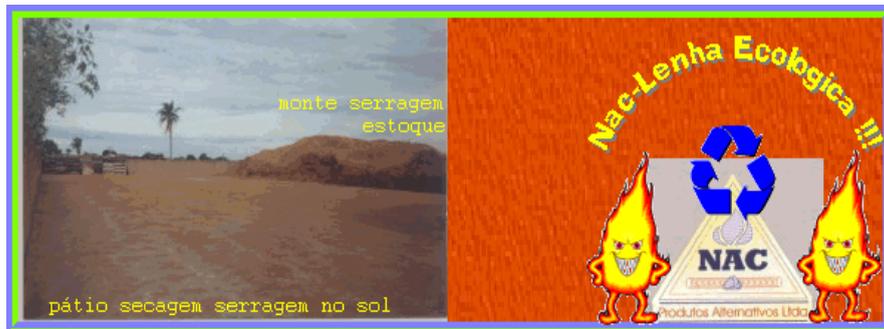


Figura 1: Área de estoque de serragem

- Granulação

Quando os resíduos não são adquiridos com a granulometria ideal, que é o caso do cepilho ou pequenos pedaços que não podem se utilizados pelas indústrias, se faz necessário o uso de um picador para facilitar o processo de prensagem.

Em seguida a serragem é transportada para o silo úmido por um transportador, sendo para este caso indicado o transportador de correia mostrado na **Figura 2**:



Figura 2: Transportador de correia.

- Armazenagem no silo úmido

Enquanto aguarda o processo de secagem, a serragem fica disposta em um silo úmido, podendo este ser vertical ou horizontais desde que tenha capacidade de 50 a 5000 m³.



Figura 3: Silo horizontal



Figura 4: Silo vertical

Do silo a serragem é transportada até o secador.

- Secagem

O secador a ser empregado depende de vários fatores, dentre eles o nível de instrução do produtor e do operador, do poder aquisitivo do produtor, do volume de produção e do sistema de recepção.

Os secadores de leito fixo são os mais acessíveis, em função, principalmente, do seu custo.

Secagem natural: A secagem pode ser feita ao ar livre, porém, podem ocorrer muitos imprevistos como a chuva, o que torna este tipo de secagem inviável para a serragem.

Secagem em camada fixa, ou camada estática de sólidos: O produto permanece em um recipiente de fundo perfurado, por onde passa o ar de secagem, insuflado por um ventilador.

O ar de secagem movimenta-se da camada inferior para a superfície da massa de grãos. A troca de umidade ocorre entre as grãos e o ar, que acontece em uma região denominada zona de secagem. Esta zona de secagem move-se no sentido da camada inferior, para a superfície da massa, conforme ocorre o prosseguimento da secagem. As partículas da camada inferior atingem a umidade de equilíbrio com o ar, antes dos sólidos da camada

superior. Podem então ser estabelecidos dois gradientes distintos durante a secagem: o primeiro é o gradiente de umidade e o segundo é o gradiente de temperatura. Esses gradientes ocorrem entre as camadas inferior e superior da massa (Lacerda Filho, 1986).

- Briquetagem

Após a secagem a serragem é transportada novamente por correia até a máquina briquetadeira.

Existem no mercado os seguintes tipos de briquetadeiras:

- **Briquetadeira do tipo Prensa de Pistão:** Neste tipo de equipamento a compactação acontece por meio de golpes produzidos sobre os resíduos por um pistão acionado através de dois volantes. Do silo de armazenagem (aéreo ou subterrâneo) os resíduos são transferidos para um dosador e briquetados em seguida (forma cilíndrica). A **figura 5** mostra este tipo de máquina:



Figura 5: Briquetadeira do tipo pistão. Fonte: <http://www.lippel.com.br>

O briquete deste processo tem as seguintes características:

Densidade: 1.000 kg/m³ a 1.300 kg/m³

Consumo: 20 a 60 kWh/t

Produção: 200 a 1.500 kg/h

P.C.I: 4.800 kcal/kg (20,1 MJ/kg)

Voláteis: 81% (base seca)

Cinzas: 1,2% (base seca)

- **Briquetadeira por extrusão:** A compactação neste equipamento se dá mediante força mecânica produzida por uma rosca sem-fim interna.

Do silo de armazenagem (aéreo ou subterrâneo) o resíduo é transferido para um desfragmentador que força a entrada do material na câmara de extrusão, sendo briquetado em seguida pela rosca sem-fim.

É um equipamento de alto rendimento e médio custo para sua produção/manutenção.

Normalmente são encontradas no mercado para produção de briquetes com diâmetros de 80 a 140 mm. A **figura 6** mostra este tipo de máquina:



Figura 6: Briquetadeira por extrusão. Fonte: <http://www.lippel.com.br>

Nesse caso o briquete apresenta as seguintes propriedades:

Densidade: 1.200 a 1.400 kg/m³

Consumo: 50 a 65 kWh/t

Produção: 800 a 1.250 kg/h

P.C.I.: 4.900 kcal/kg (20,5 MJ/kg)

Voláteis: 85%

Cinzas: < 1%

Peletizadora: A compactação neste equipamento se dá mediante força mecânica produzida por roletes internos sobre uma matriz perfurada.

Do silo de armazenagem (aéreo ou subterrâneo) o resíduo é transferido para um condicionador que conduz o material para a câmara de peletização, sendo peletizado em seguida pelo sistema.

É um equipamento de alto rendimento e alto custo para sua produção/manutenção .

Normalmente são encontradas no mercado para produção de pellets com diâmetros acima de 16 mm. A **figura 7** mostra este tipo de máquina:

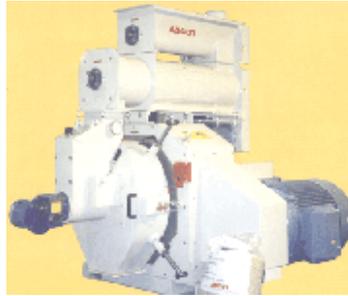


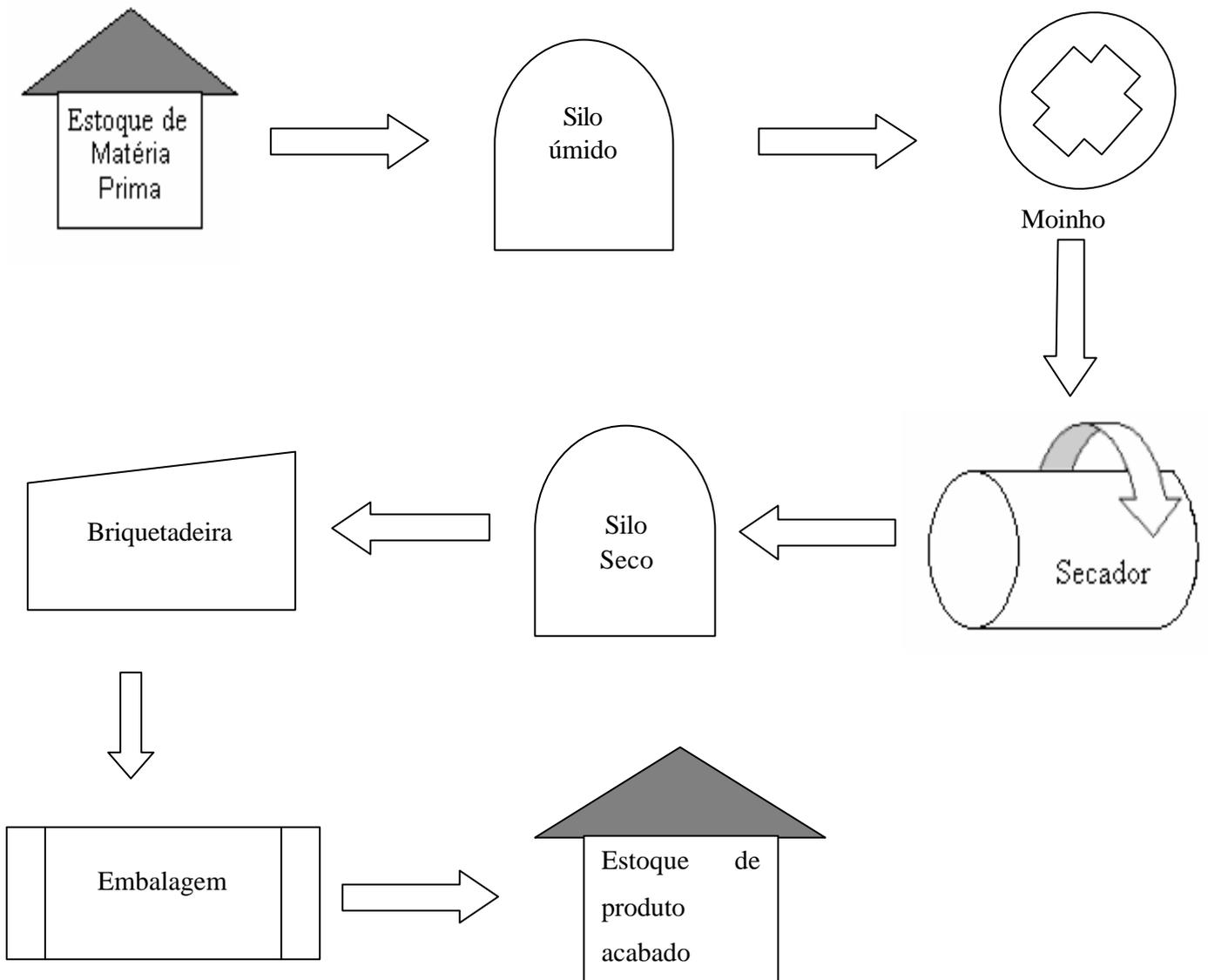
Figura 7: Peletizadora. Fonte: <http://www.lippel.com.br>

- Embalagem

Após terminado o processo de briquetagem e resfriamento natural do produto, este é embalado em caixas de papelão ou sacos de rafia e levado para a armazenagem onde estará pronto para comercialização.

2.5.3 Fluxograma do processo produtivo

Na figura abaixo temos o fluxograma do processo produtivo:



3 Conclusão

No Brasil existe grande volume de resíduos agroindustriais de natureza ligno-celulósicos, mas ainda com baixo índice de aproveitamento.

Esses resíduos estão concentrados nas regiões mais populosas do país, as quais também apresentam a maior demanda de energia. Além disso, é igualmente nessas regiões onde ocorre deficiência de lenha. Apesar de o Brasil ser um grande produtor de biomassa, a sua distribuição no território nacional é irregular.

A técnica de compactação de resíduos para use energético ainda é pouco conhecida e pouco utilizada no Brasil, porém muitos estudos vem sendo realizados e num curto espaço de tempo o briquete será um dos combustíveis mais viáveis e mais usados no mundo.

4 Bibliografia

ABES, 1999, Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental – Programa de pesquisa em saneamento básico: *Manual prático para a compostagem de biossólidos*, pp. 16, Rio de Janeiro RJ.

BRASIL, 2002, *Política Nacional de Resíduos Sólidos*, Seção VIII Apud.

BRASIL, M.A.M; Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – USP; *Variação da densidade básica da madeira de Eucalyptus propinqua Deane ex Maiden em função do local e do espaçamento*; Piracicaba; 75p.; 1972. (Dissertação de Mestrado).Apud

BIDONE, F. R. A., 2001, *Resíduos sólidos provenientes de coletas especiais: reciclagem e disposição final*. Rio de Janeiro: RIMA, ABES, pp. 3-28, 142 –150.Apud

BRITO, J.O.; ESALQ-USP; *Madeira para energia: a verdadeira realidade do uso de recursos florestais*; In: 5º Congresso Florestal Brasileiro; Anais; Sociedade Brasileira de Silvicultura; p.188-193; Recife; 1986.Apud

CASTILHOS JR, A. B., 2003, *Resíduos sólidos urbanos: aterros sustentáveis para municípios de pequeno porte*. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, pp. 3-7, Rio de Janeiro, RJ.Apud

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA, 1997, resolução n° 237 de 19 de dezembro de 1997. Apud

CTC - Fundação Centro de Tecnologia de MG, *Produção e utilização de carvão vegetal*, pp. 61 Belo Horizonte, MG, 1982.

DOAT, J.; Le puouvoir calorifique des bois tropicaux. Revue Bois et Forêts des Tropiques; n.172.; p.33-48; França; 1977.Apud

DUTRA, R. I. J. P.; NASCIMENTO, S. M., 2003, *Resíduo de indústria madeireira*. Tese, Universidade do Estado do Pará, Belém do Pará, PA.

FONTES, P. J. P., 1994, “*Auto-Suficiência Energética em Serraria de Pinus e Aproveitamento dos Resíduos*”, dissertação de Mestrado do curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

FOOD - AGRICULTURE ORGANIZATION OF UNITED NATION - FAO - Map of the fuelwood situation in the developing countries. Roma, 1981. Apud

KOLLMANN, F. e CÔTÉ Jr., W.A. **Principles of wood science and technology. I - solid wood**; Springer Verlag; 592p.; New York; 1968.

NAGASHIMA, L. A., *Caracterização quali-quantitativa dos Resíduos Sólidos de Serviços de Saúde* – O caso do Hospital Regional Universitário de Maringá [Paraná] 2004, XVII, 169p. (PEQ/UEM, M. Sc., Engenharia Química, 2004)Dissertação – Universidade Estadual de Maringá.

NBR 10004, 2004, **Norma brasileira registrada**.

REMADE, 2005, *Revista da madeira* ed. 77 disponível em www.remade.com.br. Acesso em 20/08/2005 15:00).

WEBRESOL - *Resíduos sólidos*, 2005, disponível em www.resol.com.br. Acesso em 15/07/2005 14:00).

QUIRINO, W. F. - Características de briquetes de carvão vegetal a seu comportamento na combustão.

Piracicaba, janeiro, 1991. 80 páginas (Dissertação de Mestrado apresentada à ESALQ/LISP para obtenção do título de Mestre em Ciências Florestais).

TEIXEIRA, B. A. N.; ZANIN, M., 1999, *Metodologias e técnicas de minimização, reciclagem e reutilização de resíduos sólidos urbanos*. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, pp. 25-27, Rio de Janeiro, RJ.

VALE, T. A., 2000, *Disponibilidade de energia na forma de calor da biomassa lenhosa de um cerrado sensu stricto da região de Brasília*. Tese, Universidade de Brasília, Brasília, DF.

www.biomax.com.br Acesso em 04/12/2005 14:30

<http://www.comciencia.br/reportagens> . Acesso em 22/08/2005 20:00

<http://www17.dialdata.com.br/emobile2>. Acesso em 24/08/2005 23:00

www.engwhere.com.br/engenharia. Acesso em 24/08/2005 20:30

www.ceud.ufms.br. Acesso em 24/08/2005 21:20

<http://myspace.eng.br>. Acesso em 24/08/2005 1:30

http://www.jular.pt/materia_especies_secagem.asp Acesso em 24/08/2005 23:30.

http://www.biomachine.com.br/briquete_vantagens.asp. Acesso em 03/12/2005 22:00

<http://inventabrasilnet.t5.com.br/briquete.htm>. Acesso em 30/11/2005 19:00

<http://www.fiec.org.br/publicacoes/jornalfiec/edicoes/0603> . Acesso em 15/11/2005 20:00

<http://www.lippel.com.br>. Acesso em 03/12/2005 15:00

<http://www.formatto.com.br/transgar> Acesso em 20/09/2005 20:00

<http://www.nacbriquetes.bpg.com.br>