

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
Programa de Pós-Graduação em
Sustentabilidade na Gestão Ambiental

**PRODUÇÃO DE BRIQUETES COM RESÍDUOS DE VEGETAIS DE JARDINAGEM
E PODAS EM CONDOMÍNIOS RESIDENCIAIS**

EVÔNIO MARQUES DE OLIVEIRA JÚNIOR

Orientador: Prof. Dr. Ismail Barra Nova de Melo

Sorocaba/SP
2013

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
Programa de Pós-Graduação em
Sustentabilidade na Gestão Ambiental

**PRODUÇÃO DE BRIQUETES COM RESÍDUOS DE VEGETAIS DE JARDINAGEM
E PODAS EM CONDOMÍNIOS RESIDENCIAIS**

EVÔNIO MARQUES DE OLIVEIRA JÚNIOR

Orientador: Prof. Dr. Ismail Barra Nova de Melo

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Sustentabilidade na Gestão Ambiental da Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Sustentabilidade na Gestão Ambiental.

Sorocaba/SP

2013

FOLHA DE APROVAÇÃO

EVÔNIO MARQUES DE OLIVEIRA JÚNIOR

**PRODUÇÃO DE BRIQUETES COM RESÍDUOS DE VEGETAIS DE JARDINAGEM
E PODAS EM CONDOMÍNIOS RESIDENCIAIS**

COMISSÃO JULGADORA

Prof. Dr. Ismail Barra Nova de Melo (Presidente)

Prof. Dr. Fábio Minoru Yamaji (titular interno)

Prof. Dr. Diego Corrêa Maia (titular externo)

RESULTADO_____

Sorocaba, 29 de julho de 2013

Ofereço esta dissertação ao Senhor Deus que me capacitou e usou de pessoas especiais para me ensinar, que me fortalece com sua inefável presença e me concedeu imerecidamente o Dom da Vida por meio de seu único Filho Jesus Cristo.

Dedico esta dissertação à minha amada esposa: Sandra, pelo estímulo e cumplicidade, aos meus filhos: Bruna e Bruno, pelas horas de lazer e atenção ceifadas, e às minhas netas: Anna Clara e Anna Laura, pelo carinho e presença sempre alegre que aliviava as tensões.

AGRADECIMENTOS

Em meio a muitas dificuldades esta dissertação pôde ser concluída, motivo pelo qual agradeço imensamente ao Prof. Dr. Ismail Barra Nova de Melo, paciente orientador deste trabalho, por seus ensinamentos, interesse e amizade depositada.

Ao Prof. Dr. Fábio Minoru Yamaji pelo apoio e condução dispensados nas atividades laboratoriais na UFSCar e na UNESP - Itapeva e por suas oportunas sugestões ao participar da banca de qualificação.

Ao Prof. Dr. Diego Corrêa Maia que de igual forma, na banca de qualificação, contribuiu com sugestões pertinentes e importantes para esta dissertação.

Agradeço também aos Professores que deram supedâneo a esse trabalho através do curso Pós-Graduação em Sustentabilidade na Gestão Ambiental.

Quero agradecer também ao aluno Diego Aleixo da Silva, vulgo Texugo, membro do Grupo de Bioenergia, por seu empenho em me ensinar na operação dos aparelhos do Laboratório de Materiais Lignocelulósicos.

“O que eu faço, é uma gota no meio de um oceano. Mas sem ela, o oceano será menor.”

Madre Teresa de Calcutá

RESUMO

O presente trabalho consiste no aproveitamento dos resíduos vegetais gerados pelos jardins e áreas verdes para a produção de briquetes. Os condomínios horizontais ou loteamentos fechados são grandes geradores desse tipo de material, fato que motivou este estudo. A avaliação do potencial de aproveitamento do resíduo vegetal de podas de jardim é uma alternativa para diminuir o espaço ocupado por estes resíduos no aterro sanitário, e desta forma aumentar a vida útil do mesmo, promovendo também melhorias na saúde pública com a redução da proliferação de vetores e de gás de efeito estufa. O briquete produzido com estes resíduos é também alternativa para fornecimento de energia, preservando as florestas nativas ou não. O estudo foi realizado com amostras de resíduos de verão e de inverno. Para a caracterização dos briquetes foram determinados umidade, teores de materiais voláteis, cinzas e carbono fixo, poder calorífico, densidade, friabilidade e resistência à compressão. Concluindo ser a produção de briquetes tecnicamente viável com a matéria prima proposta.

Palavras-Chave: briquetes, geração de energia e resíduos vegetais

ABSTRACT

The present work consists in the use of vegetable waste generated by gardens and green areas for the production of briquettes. The horizontal condominiums or allotment closed are great generators of this type of material, a fact that motivated this study. The evaluation of the potential of utilization of plant residue of pruning to garden is an alternative to reduce the space occupied by these residues in the sanitary landfill, and in this way increase the useful life of the same, also promoting improvements in public health with the reduction of the proliferation of vectors and greenhouse gas. Briquettes produced with these wastes is also an alternative for energy supply, preserving the native forests or not. The study was carried out with samples of waste of summer and winter. For the characterization of briquettes were determined levels of moisture, volatile materials, ash and fixed carbon, calorific value, density, friability and resistance to compression. In conclusion be the production of briquettes technically feasible with the raw material proposal.

Keywords: briquettes, power generation and waste plant.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Amostra dos resíduos vegetais.....	25
Figura 2 - Peneira 5 mesh.....	26
Figura 3 – Material retido na peneira 5 mesh.....	26
Figura 4 – Balança para determinação de umidade.....	27
Figura 5 - Peneiras de 20, 35, 60, 100 e 200 mesh.....	27
Figura 6 - Moinho de facas tipo Willey MA-340.....	28
Figura 7 – Forno mufla na calcinação dos cadinhos.....	29
Figura 8 – Forno mufla na determinação de voláteis.....	29
Figura 9 – Cadinhos com cinzas.....	30
Figura 10 – Pesagem em balança analítica.....	31
Figura 11 – Molde de briquetes com funil.....	32
Figura 12 – Molde de briquete com êmbolo na prensa.....	32
Figura 13 – Molde de briquete com êmbolo na prensa.....	33
Figura 14 – Briquetes moldados e numerados.....	33
Figura 15 – Comparação dos volumes do material in natura e comprimido – a.....	34
Figura 16 – Comparação dos volumes do material in natura e comprimido – b.....	34
Figura 17 – Equipamento para ensaio de desagregação por tamboramento.....	35
Figura 18 – Briquetes após o ensaio de tamboramento.....	35
Figura 19 – Calorímetro Adiabático C-5000 IKA®.....	36
Figura 20a – Ensaio de Tração por Compressão Diametral – Mat. de Verão.....	44
Figura 20b - Ensaio de Tração por Compressão Diametral – Mat. de Inverno.....	45
Figura 21 – Gráfico de expansão (mm/t) dos briquetes dentro de 48 horas.....	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Relação de Áreas.....	37
Tabela 2 - Volume e Frequência.....	37
Tabela 3 - Descarte e Custo.....	38
Tabela 4 – Umidade das Amostras.....	38
Tabela 5 – Classificação Granulométrica.....	39
Tabela 6 – Classificação Climática de Koeppen: Cwa.....	40
Tabela 7 – Teor de Voláteis.....	40
Tabela 8 – Teor de Cinzas.....	41
Tabela 9 – Teor de Carbono Fixo.....	41
Tabela 10 – Relação de briquetes.....	42
Tabela 11 – Densidade e volume.....	42
Tabela 12a – Ensaio de Tração por Compressão Diametral – Mat. de Verão.....	43
Tabela 12b - Ensaio de Tração por Compressão Diametral – Mat. de Inverno.....	44
Tabela 13 – Ensaio de Friabilidade.....	45
Tabela 14 – Resultado das Análises de Poder Calorífico.....	47

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT: Associação Brasileira de Normas técnicas.....	16
ABRELPE: Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais.....	17
Agenda-21: Documento de compromisso firmado entre as nações na Rio-92.....	13
ASTM: American Society for Testing and Materials.....	30
AT/Lab 118: Laboratório de Materiais Lignocelulósicos – UFSCar.....	24
BSI: British Standards.....	36
cal: caloria.....	47
cm: centímetro.....	24
CO₂: gás carbônico.....	19
CP: corpo de prova.....	43
DIN: Deutsches Institut für Normung.....	36
g: grama.....	27
°C: grau centígrado.....	28
IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.....	17
ISO: International Organization for Standardization.....	36
kg: quilograma.....	17
kgf: quilograma-força.....	34
m²: metro quadrado.....	18
m³: metro cúbico.....	20
mesh: malha, peneira.....	25
mm: milímetro.....	40
MPa: megapascal.....	43
NBR: Norma Brasileira.....	16
Rio-92: II Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento Humano realizada no Rio de Janeiro em 1992.....	15
RPM: rotações por minuto.....	34
ton: tonelada.....	17
UNESP: Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”.....	v
Var.: variação.....	41
Watts: unidade de potência igual a 1 Joule/seg.....	18

SUMÁRIO

Agradecimentos.....	v
Epígrafe.....	vi
Resumo.....	vii
Abstract.....	viii
Lista de Ilustrações.....	ix
Lista de Tabelas.....	x
Lista de Abreviaturas.....	xi
Introdução.....	13
Objetivo.....	22
Materiais e Métodos	23
Resultados e Discussão.....	37
Conclusão.....	48
Referências.....	50
Apêndice.....	53

INTRODUÇÃO

A sociedade de consumo tem por objetivo cercar-se de benefícios e conforto, essas benesses, frutos do consumismo e autossatisfação, geram resíduos de forma acentuada, crescente e até irresponsável. Este conceito é estudado por Marcuse (1968, p. 31) sob diversas óticas, porém, neste trabalho retomamos que o homem unidimensional é resultado do desenvolvimento de "falsas necessidades", que surgiram pela tecnologia e pela auto segregação.

As criaturas se reconhecem em suas mercadorias; encontram sua alma em seu automóvel, hi-fi, casa em patamares, utensílios de cozinha. O próprio mecanismo que ata o indivíduo a sua sociedade mudou, e o controle social está ancorado nas novas necessidades que ela (a sociedade) produziu.

Nesse aspecto tem-se a questão ambiental, a retirada indiscriminada de recursos naturais, bem como o bombardeio de resíduos na natureza geram a demanda por soluções coerentes e eficazes, como preconiza um dos objetivos da AGENDA 21 (2001b):

Os objetivos são ampliar o fornecimento aos assentamentos humanos de uma tecnologia mais eficiente quanto ao uso da energia, bem como de fontes alternativas/renováveis de energia, e reduzir os efeitos negativos da produção e do uso da energia sobre a saúde humana e sobre o meio ambiente.

O descarte do material vegetal juntamente com o lixo em geral das cidades em todo o mundo sempre representou sério problema à saúde pública e ao meio ambiente, visto que gera um grande volume. Lixões próximos às cidades durante séculos tratados sem os devidos cuidados, sempre estiveram associados segundo James (1997) à propagação de doenças, seja diretamente via pessoas e animais coexistindo nestes locais, seja por meio da contaminação dos mananciais de água, dos solos e dos alimentos.

Não ocorre diferente com os jardins e as áreas verdes nos condomínios e loteamentos fechados, há a necessidade de se manter a "estética" desses locais. Para a manutenção da beleza ditada pelos seus consumidores, são necessárias constantes podas na vegetação em todas as estações do ano, porém o volume do material residual varia conforme essas estações, com ápice nos meses de verão.

Uma parcela da sociedade tem buscado fazer suas residências nos condomínios e loteamentos fechados, esses fenômenos de divisão territorial são resultantes da segregação imposta pela hierarquização social, conforme afirma Carlos (2007a, p.47), “O uso do território da cidade revela a segregação baseada nas desigualdades dos atos de uso.”. Ainda sobre a segregação espacial Carlos (2007a) alega que se deve considerar que a hierarquização espacial promove a segregação espacial urbana, já que as diferenciações na distribuição social de serviços à população aumentam à medida que há redução das despesas públicas e com a privatização de serviços.

A justificação do surgimento de condomínios também é explicada por Carlos (2007a) como sendo resultado da hierarquia social que determina acesso ao solo urbano de acordo com as necessidades das classes dessa hierarquia, formando guetos residenciais. Esses guetos, formados por condomínios, bairros nobres e construções fortificadas tem modo de vida próprio, possuem forte esquema de segurança e controle como se fossem prisões, de forma a isolar seu mundo da vizinhança que não possui o mesmo padrão de vida.

Em outra apresentação, Carlos (2007b) sugere que a segregação ocorre pelo processo que os centros urbanos vêm sofrendo neste período pós-industrial, ou seja, pelo crescimento do moderno terceiro setor que é composto por serviços, comércio e setor financeiro, visando uma economia globalizada.

Há duas formas de segregação: a autosegregação, que trata da segregação das classes dominantes, e a segregação imposta aos grupos sociais em que as opções de como e onde morar são pequenas ou nulas. Dessa forma, conforme Corrêa (1989, p.56), a segregação vem como um duplo papel, “o de ser um meio de manutenção dos privilégios por parte da classe dominante e de um meio de controle social por esta mesma classe sobre os outros grupos sociais”.

A procura por qualidade de vida é a motivação dos indivíduos para buscar os condomínios, de acordo com Carlos (2007b, p.98), existe a tática imobiliária que passa a ideia da necessidade de um modo de vida que seja “capaz de fazer frente, ou melhor, de isolar / poupar e proteger os indivíduos numa metrópole que se torna congestionada e violenta e de outro lado, a necessidade de se morar em meio ou próximo ao verde, que a metrópole, em seu crescimento, destruiu”.

A Sociedade de Consumo – Para Carlos (2007b, p.30), os interesses das sociedades são direcionados pelo consumo manipulado, ou pela necessidade do consumo “[...] reduzindo o cidadão à condição de usuário de serviços em um espaço geométrico e visual onde a vida cotidiana é programada pelo consumo manipulado”.

Na ótica de Caldeira (2003, p.265), os condomínios são um conceito diferente de moradia, superior, pois se supõe “[...] que condomínios fechados sejam mundos separados. Seus anúncios propõem um “estilo de vida total”, superior ao da cidade, mesmo quando são construídos dentro dela”.

Esses condomínios possuem particularidades que os diferenciam dentro da cidade, conforme Caldeira (2003, p. 258-259).

São fisicamente demarcados e isolados por muros, grandes, espaços vazios e detalhes arquitetônicos. São voltados para o interior e não em direção á rua, cuja vida pública rejeitam explicitamente. São controlados por guardas armados e sistemas de segurança, que impõem as regras de inclusão e exclusão. São flexíveis: devido ao seu tamanho, às novas tecnologias de comunicação, organização do trabalho e aos sistemas de seguranças, eles são espaços autônomos, independentes do seu entorno, que podem ser situados praticamente em qualquer lugar.

Nos condomínios horizontais e loteamentos fechados são gerados resíduos especiais, tais como a poda das árvores e resíduos vegetais de jardinagem, que compõem a cobertura vegetal nas áreas comuns e particulares. São resultados de um processo realizado diariamente pelos jardineiros e pelas equipes de manutenção dos mesmos. Este processo gera um determinado volume de "lixo verde", material volumoso que se não for beneficiado através de um aproveitamento racional, irá compor o lixo orgânico resultante do cotidiano das cidades, pois sempre representou sério problema à saúde pública e ao meio ambiente, agravando as já complicadas carências por espaço. Este é um sério problema para o meio ambiente que necessita de soluções urgentes.

A Agenda-21, documento elaborado por 170 países na Rio-92, propõe que “[...] a sociedade precisa desenvolver formas eficazes de lidar com o problema da eliminação cada vez maior de resíduos” (AGENDA 21, 2001a).

A problemática dos resíduos sólidos tem sido amplamente discutida dentro do saneamento ambiental. Nos últimos tempos, observa-se que a grande

geração de resíduos é impulsionada principalmente pelo crescimento populacional contínuo e desordenado, aliado ao modo consumista de viver da sociedade atual, bem como a falta de políticas de investimento e fiscalização para a coleta, disposição e tratamento dos resíduos sólidos urbanos. Todos esses fatores têm contribuído para tornar esses resíduos em um grave problema social e ambiental (LUNA et al, 2003).

A Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010 institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos – (PNRS), por essa lei são responsabilizados os geradores de resíduos.

Art. 25. O poder público, o setor empresarial e a coletividade são responsáveis pela efetividade das ações voltadas para assegurar a observância da Política Nacional de Resíduos Sólidos e das diretrizes e demais determinações estabelecidas nesta Lei e em seu regulamento.

A PNRS ainda estipula a responsabilidade compartilhada de todos, com finalidades bem definidas, são elas:

- I - compatibilizar interesses entre os agentes econômicos e sociais e os processos de gestão empresarial e mercadológica com os de gestão ambiental, desenvolvendo estratégias sustentáveis;
- II - promover o aproveitamento de resíduos sólidos, direcionando-os para a sua cadeia produtiva ou para outras cadeias produtivas;
- III - reduzir a geração de resíduos sólidos, o desperdício de materiais, a poluição e os danos ambientais;
- IV - incentivar a utilização de insumos de menor agressividade ao meio ambiente e de maior sustentabilidade;
- V - estimular o desenvolvimento de mercado, a produção e o consumo de produtos derivados de materiais reciclados e recicláveis;
- VI - propiciar que as atividades produtivas alcancem eficiência e sustentabilidade;
- VII - incentivar as boas práticas de responsabilidade socioambiental.

A matéria orgânica putrescível é classificada como Resíduos Classe II-A - Não Inertes (ABNT-NBR 10004:2004). De acordo com Luna et al (2003, p.2), no Brasil, o percentual de matéria orgânica putrescível dos resíduos sólidos urbanos situa-se em torno de 55% (% em peso).

Os resíduos sólidos orgânicos apresentam em sua constituição química um percentual de nutrientes bastante significativo. Este fato os torna aptos a serem tratados através dos processos biológicos sem que sejam causados maiores

problemas (LUNA et al, 2003). Contudo, demandam área para compostagem que os empreendimentos residenciais não possuem.

De acordo com a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico – (PNSB) (IBGE, 2008), temos a quantidade diária de resíduos sólidos, domiciliares e/ou públicos, coletados e/ou recebidos (ton/dia) e a unidade de destino final dos resíduos sólidos coletados e/ou recebidos:

- Total: 259.547 toneladas por dia.
- Vazadouro a céu aberto (lixão): 45.710 (17,61%);
- Vazadouro em áreas alagadas ou alagáveis: 46 (0,02%);
- Aterro controlado: 40.695 (15,68%);
- Aterro sanitário: 167.636 (64,59%);
- Unidade de compostagem de resíduos orgânicos: 1.635 (0,63%);
- Unidade de triagem de resíduos recicláveis: 3.122 (1,20%);
- Unidade de tratamento por incineração: 67 (0,03%);
- Outra: 636 (0,24%) IBGE (2008, p.163).

A média de geração de lixo no Brasil hoje é de 1,152 kg por habitante por dia, padrão próximo aos dos países da União Europeia, cuja média é de 1,2 kg por dia por habitante. Nas grandes capitais, esse volume cresce ainda mais: Brasília é a campeã, com 1,698 kg de resíduos coletados por dia, seguida do Rio, com 1,617 kg/dia, e São Paulo, com 1,259 kg/dia (ABRELPE, 2011).

A correta destinação dos resíduos de poda é de grande importância, já que a sua grande maioria é depositada em aterros ou lixões. Nos aterros, misturam-se com os outros resíduos sólidos ali depositados e contribuem para a produção do biogás, que, se não for coletado, impacta o meio ambiente, pois é constituído principalmente por metano, um dos gases que causadores do efeito estufa.

A proposta de gerenciamento de resíduos urbanos de forma sustentável deve considerar três princípios orientadores: redução, reutilização e reciclagem. Estes princípios passam por um amplo trabalho de conscientização e educação ambiental decorrente da modificação de hábitos de consumo mais conscientes e de práticas de reaproveitamento e reciclagem e que leve à produção do menor volume possível de resíduos e rejeitos, direcionando com eficácia e economia o sistema de coleta, tratamento de disposição final desde serviço comunitário.

Para COELHO (1982) a biomassa é o conjunto de materiais orgânicos gerados por organismos autótrofos do reino vegetal (fitomassa) ou acumulados nos

seres heterótrofos do reino animal (zoomassa). Os organismos fotossintéticos (autótrofos) são capazes de transformar a energia solar em energia química, mediante a atuação biogeoquímica dos cloroplastos contidos na clorofila das plantas. Essa energia é retida e acumulada nos espaços intermoleculares e é liberada em processos que envolvem oxidação, redução e hidrólise, que podem ser de natureza termoquímica, bioquímica e biológica.

No sol ocorrem reações de fusão atômica que geram radiação num amplo espectro de ondas. A quantidade de energia que atinge a camada externa da atmosfera do nosso planeta é igual a 1.350 watts/m², em um plano perpendicular aos raios solares, o que equivale a 1,94 calorias de energia por centímetro quadrado por minuto (ORTIZ, 1996).

Nessa linha, segundo o mesmo autor, é de conhecimento que, a contagem de energia fixada na biosfera é cerca de 70.000 MtEP (milhões de toneladas equivalentes de petróleo), análogo a dez vezes o consumo energético total do planeta, 8,33% das reservas de combustíveis fósseis ou 200 vezes o consumo mundial de alimentos. Porém, ela não é possível o aproveitamento total, já que os processos tecnológicos de concentração, manejo, liberação da massa para torna-la utilizável, na maioria dos casos, não é viável economicamente por resultar num balanço energético negativo.

A biomassa é um combustível sólido que pode ser utilizado diretamente na condição in natura, sob controle de umidade; pode ser transformada por processos mecânicos em partículas menores, como cavacos, serragem ou ainda compactados na forma de briquetes (VALE e GENTIL, 2008).

No Brasil como em todo o mundo é muito grande o potencial energético da biomassa, conforme LORA e ANDRADE (2004). Paralelamente, é certo considerar que os biocombustíveis poderiam ser um dos caminhos para a geração de eletricidade em pequenas comunidades.

Um relatório do Greenpeace aponta para uma utilização da biomassa, entre outras fontes renováveis, como fonte de energia que comporia a matriz energética do Brasil até 2050, com um índice de 16%, sem deixar de ter crescimento do PIB. O aumento da energia limpa é chamado pela ONG de revolução energética, pois em contrapartida haveria benefício com a redução do uso de combustíveis

fósseis, já que eles contribuem para as mudanças climáticas. Também seria uma forma de garantir a geração de empregos (GREENPEACE, 2010).

Conhecemos hoje várias fontes renováveis de biomassa que poderiam compor a matriz energética do país como: lenha, resíduos vegetais (que é o nosso foco), carvão vegetal, casca de arroz, cana de açúcar (bagaço da cana, palha e álcool), babaçu, óleos vegetais, sisal e biogás.

Podemos considerar outras vantagens da biomassa advinda dos resíduos de podas de árvores e jardins, considerando o viés socioambiental, pois seu manejo e uso não causam aumento de CO₂ à atmosfera, visto que o CO₂ desprendido durante a combustão é sacado da atmosfera durante o processo de fotossíntese.

Faz-se necessário, portanto, incentivo à pesquisa e desenvolvimento de projetos industriais de aplicação energética da biomassa, com objetivo de reduzir os custos de produção da biomassa.

Para fazer face aos problemas já descritos, é possível densificar a matéria orgânica, que passa pela compressão de forma a tornar a biomassa mais homogênea e compacta. As técnicas mais comuns são a produção de briquetes e pellets. A biomassa é triturada, formando a uma mistura mais homogênea que depois de seca é comprimida obtendo a forma final. O resultado é um composto 100% natural, com um elevado poder calorífico devido à reduzida humidade.

O Briquete: em 1848 foi concedida uma patente a William Easby, tratava-se de um método de conversão de carvão miúdo em torrões sólidos. Easby apud Brosch e Furuno (1968, p.2) comenta sobre seu produto em que a:

[...] utilidade e a vantagem da descoberta são que, através desse processo, um artigo de pequeno valor, quase desprezível, pode ser convertido em um artigo valioso de combustível para navios a vapor, forjas, culinária e outras finalidades, assim economizando o que agora é perdido.

Conforme Ormond (2006), pelas suas características de ser um produto totalmente natural, ecológico, de forma regular, de composição homogênea, apto para gerar energia e que evita o corte de árvores, o briquete é um substituto adequado da lenha.

Além disso, o briquete pode aproveitar o poder energético de qualquer biomassa. A tecnologia da compactação, segundo Quirino (2004) ainda é pouco difundida em nosso país, porém, quando o conhecimento das vantagens chega às empresas é rapidamente absorvido pelo fato de seus benefícios.

De acordo com Saleme (1992), hoje é possível aproveitar grande variedade de resíduos orgânicos ou biomassa para a geração de energia, aplicando-se tecnologias simples. A briquetagem é um exemplo, pois consiste na aplicação de pressão a uma massa de partículas, com ou sem adição de ligante, e com ou sem tratamento térmico.

Basicamente, o processo para a briquetagem utiliza uma prensa mecânica em uma biomassa transformando-a em um sólido cilíndrico compacto com elevada densidade e poder calorífico (FILIPPETTO, 2008).

Para Fontes et al. (1984), obtemos um combustível com homogeneidade granulométrica, maior densidade e resistência à geração de finos com a briquetagem. A briquetagem também produz um combustível com maior concentração energética por volume, dado o processo de densificação, agregando resistência, tornando viável técnica e economicamente o transporte a distâncias maiores.

Os briquetes de resíduos de podas de árvores, arbustos, jardins e gramados, foco de nosso trabalho, podem ser usados em substituição da lenha convencional com a vantagem de ser um produto mais limpo e mais energético. Podem ser usados como forma única de alimentação ou em complemento com outros combustíveis, como já é o caso de algumas padarias e sistemas de aquecimento residencial e industrial.

A briquetagem é uma forma muito eficiente para concentrar a energia disponível na biomassa. Exemplifica-se este fato na consideração de que 1,00m³ de briquetes contêm pelo menos cinco vezes mais energia que 1,00m³ de resíduos, levando-se em consideração a densidade a granel e o poder calorífico médio destes materiais (QUIRINO, 1991).

A briquetagem de resíduos de podas de árvores e jardins de condomínios e loteamentos fechados é uma proposta a ser apresentada aos demais empreendimentos horizontais. Assim, de acordo com Benjamim (1990, p.10), os recursos podem ser entendidos como:

[...]aquelas partes da natureza que podem ser aproveitadas num momento dado. É, portanto, um conceito dinâmico, pois são o trabalho e a inteligência humanos que fazem com que a matéria passe à condição de recurso.

A alternativa da produção de briquetes com os resíduos de podas e jardinagem reduz o volume inicial de matéria orgânica, “[...] pode-se concluir que a através da briquetagem pode-se reduzir de 4 a 11 vezes o volume de biomassa” (FLORES et al, 2009, p. 32-34).

Portanto a briquetagem é uma possível solução a esse problema, pois este processo densifica os materiais concentrando a energia e diminuindo significativamente o volume dos resíduos (ANTUNES, 1982).

É no sentido de criatividade que Santos (2004: p.83) aponta:

As ações resultam de necessidades, naturais ou criadas. Essas necessidades: materiais, imateriais, econômicas, sociais, culturais, morais, afetivas, é que conduzem os homens a agir e levam funções. Essas funções, de uma forma ou de outra, vão desembocar nos objetos. Realizadas através de formas sociais, elas próprias conduzem à criação e o uso dos objetos, formas geográficas.

Os condomínios horizontais e loteamentos fechados são necessidades criadas pela atual conjuntura social, logo, soluções criativas também devem ocorrer para enfrentar os problemas dos resíduos de podas e jardinagem.

Este trabalho foi dividido em cinco tópicos: **Objetivo**, que tem por base dar meta à solução do problema existente; **Materiais e Métodos**, neste tópico são evidenciados os procedimentos e os recursos utilizados; **Resultados e Discussões**, que apresenta os dados colhidos e seus comentários aplicados à comparação com os objetivos propostos, bem como a comparação dos resultados à luz da literatura existente, e, a **Conclusão**, no qual é apresentada de forma objetiva a viabilidade técnica da produção de briquetes com os resíduos vegetais produzidos em condomínios e, por último, são apresentadas as **referências** utilizadas nesta dissertação.

OBJETIVO

O objetivo deste trabalho foi o desenvolvimento do processo para a fabricação de briquetes, reduzindo o volume pela reciclagem dos resíduos de poda de árvores e resíduos de jardinagem, de forma que atenda as demandas de condomínios e loteamentos fechados.

Especificamente, buscamos a viabilidade técnica de se produzir briquetes com qualidade a partir do produto de podas de árvores e jardins, de forma que, além de reduzir o volume dos resíduos vegetais, facilite a estocagem e transporte e geração de energia.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para demonstrar a necessidade dos condomínios, foi feito um levantamento para identificar a demanda por destinação mais útil do material de podas. Foram pesquisados seis condomínios da região de Sorocaba, a escolha se deu por se tratarem de condomínios de médio a alto padrão econômico, pois possuem maior área verde e jardins particulares, essas áreas são compreendidas por espécies arbóreas, arbustivas e gramíneas.

No levantamento, dois condomínios não forneceram informações e um já possui forma alternativa de compostagem, restando assim, três condomínios que forneceram as informações solicitadas.

A pesquisa foi feita por formulário (Apêndice) previamente enviado aos endereços eletrônicos dos responsáveis por cada condomínio, que posteriormente devolveram as pesquisas preenchidas também por meio eletrônico.

As áreas verdes são obrigatórias em condomínios horizontais e loteamentos fechados¹, a relação das áreas verdes com as áreas totais podem variar de acordo com as características arquitetônicas de cada empreendimento e conforme as exigências municipais, contudo, essas áreas são constantes em empreendimentos residenciais, gerando resíduos vegetais de forma contínua.

Para estudo do caso, desenvolvemos pesquisa de solução viável dentro de um condomínio residencial de alto padrão em Araçoiaba da Serra, na região de Sorocaba, estado de São Paulo. A escolha desse condomínio é justificada pela acessibilidade aos dados de suas coletas, bem como pelo volume e variedade de resíduos produzidos mensalmente.

Neste local são gerados, em média diária, cerca de 20 m³ de resíduos de podas de árvores e resíduos de jardinagem dos mais variados tipos de vegetação. Esse material é coletado em carretas tracionadas por tratores até um pequeno transbordo onde a carga é transferida para um caminhão que destina os resíduos para um aterro indicado pela prefeitura municipal.

Assim como os demais empreendimentos horizontais, onde a área de produção de resíduos vegetais é grande, o condomínio pesquisado tem volume acentuado de material verde para destinação. O condomínio não possui área

¹ Lei nº 1417 de 30 de junho de 1966 de Sorocaba - CÓDIGO DE ARRUAMENTO E LOTEAMENTO

destinada a compostagem convencional, a deposição de material vegetal esgotaria em poucos dias a exígua área de 2.000 m² ainda disponível à administração do condomínio.

A cidade de Araçoiaba da Serra não possui um aterro sanitário de proporções satisfatórias para receber mais nada além dos resíduos sólidos.

O aterro indicado por essa municipalidade é uma antiga pedreira desativada e tem vida útil demasiadamente reduzida. A destinação, apesar de indicada pela municipalidade, não atende às exigências dos órgãos ambientais, gera risco de multas e de reparações ambientais.

Aduz-se a esse fato, conforme informações levantadas no condomínio estudado, a necessidade de se zerar, ou reduzir as despesas de transporte dos resíduos, pois gera um custo mensal em torno de R\$ 10.000,00, fator que justifica a pesquisa da possibilidade de se propiciar a reciclagem do material gerado.

Tanto para condomínios quanto para loteamentos fechados, o fator custo é diretamente percebido pelos moradores, os valores apresentados neste estudo justificam a busca por um novo processo que desonere as taxas condominiais.

O presente trabalho foi realizado no laboratório de Materiais Lignocelulósicos (AT/Lab 118) da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) – Campus Sorocaba e no Campus Itapeva da UNESP - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, com a realização do monitoramento de diversos parâmetros, visando à viabilidade e o aperfeiçoamento do processo.

O processo em escala industrial compreende a trituração, homogeneização através de betoneira, secagem, compactação, embalagem e transporte. A secagem após a homogeneização visa levar a matéria prima a ter uma umidade ótima, conforme definida em laboratório.

Foram coletadas duas amostras no condomínio, a primeira amostra foi coletada em período de verão e outra coleta ocorreu em período de inverno, essas coletas ocorreram em períodos diferentes para comparação de dados devido às diferenças de espécies e volumes.

Os resíduos foram selecionados de acordo com o tamanho ou diâmetro, para que seja retirado o material mais lenhoso, acima de 1 cm, que deverá

se destinar para a venda e aproveitamento em fornos diretamente ou ser triturado, enquanto que o material mais fino foi aproveitado para esta análise de briquetagem.

Foi determinada a densidade do material coletado, por meio de um béquer de 10 litros e uma balança, com o balde sobre a balança já tarada foi preenchido o recipiente, apurando-se o peso do material, conforme a equação a seguir, obteve-se a densidade do material.

$$Densidade = \frac{peso_{amostra}}{volume_{amostra}}$$

Os materiais de resíduos de poda urbana de variadas espécies de árvores, arbustos e gramíneas, coletados em um condomínio de Araçoiaba da Serra, SP, foram passados conjuntamente em um triturador de resíduos orgânicos tipo TR 200 (dentre 1 a 2 vezes, no local de coleta). A amostra do material coletado no condomínio, já triturado em triturador de jardim é apresentada na foto a seguir.

Figura 1 – Amostra dos resíduos vegetais



Fonte: OLIVEIRA JÚNIOR

Os resíduos foram submetidos a uma peneira de 5 mesh (Figura 2), o material retido (Figura 3) não foi utilizado para as análises e para a confecção dos briquetes.

Figura 2 - Peneira 5 mesh



Fonte: OLIVEIRA JÚNIOR

Figura 3 – Material retido na peneira 5 mesh



Fonte: OLIVEIRA JÚNIOR

Em seguida, o material foi examinado em Balança Determinadora de Umidade (Figura 4) que apontou a umidade da amostra (tabela 4).

Figura 4 – Balança para determinação de umidade



Fonte: OLIVEIRA JÚNIOR

Realizou-se a distribuição granulométrica dos resíduos da amostra. Para isto, 100,03 g o material foi submetido ao classificador de partículas (Figura 5) (peneiras de 20, 35, 60, 100 e 200 mesh) (Tabela 5).

Figura 5 - Peneiras de 20, 35, 60, 100 e 200 mesh



Fonte: OLIVEIRA JÚNIOR

O material passou por moinho de facas tipo Willey MA-340 (Figura 6) para a determinação do teor de voláteis e cinzas.

Figura 6 - Moinho de facas tipo Willey MA-340



Fonte: OLIVEIRA JÚNIOR

Determinou-se o teor de voláteis (adaptado da norma ABNT-NBR 8112, 1986), cinzas e carbono fixo da amostra (tabelas 7, 8 e 9). Para a determinação do teor de voláteis, foram calcinados três cadinhos a 900 °C por 20 minutos e posteriormente pesados (Figura 7).

Figura 7 – Forno mufla na calcinação dos cadinhos



Fonte: OLIVEIRA JÚNIOR

De igual forma foram determinadas as massas das amostras, que previamente havia sido removida a umidade. Em seguida os mesmos com as amostras secas permaneceram na entrada da mufla sob a temperatura de 900 °C durante três minutos com a porta aberta (Figura 8), sendo depois a porta fechada e aguardando-se por mais sete minutos.

Figura 8 – Forno mufla na determinação de voláteis



Fonte: OLIVEIRA JÚNIOR

Nova pesagem em balança semi-analítica foi feita. A determinação dos voláteis (Tabela 7) se dá pela equação seguinte:

$$\text{Voláteis} = \frac{m_{\text{cadinho+amostra}} - m_{\text{cadinho+cinzas}}}{m_{\text{amostra}}} \times 100$$

A determinação do teor de cinzas (adaptado das normas ABNT-NBR 8112, 1986 e ASTM D1102, 1984) se deu com uma temperatura de 700 °C, as amostras foram colocadas na porta na mufla até que as mesmas entrassem e combustão e parassem de sair fumaça, sendo em seguida a porta fechada e aguardado por mais seis horas. Outros materiais necessários foram uma balança determinadora de umidade, para garantir que as amostras fossem secas, uma balança semi-analítica e um dessecador para que a umidade não influenciasse na análise.

Para a determinação do teor de cinzas, foram calcinados três cadinhos a 900 °C por 20 minutos e posteriormente pesados.

Foram determinadas as massas das amostras em balança semi-analítica, que previamente havia sido removida a umidade. Em seguida os mesmos com as amostras secas permaneceram na entrada da mufla sob a temperatura de 700 °C, da combustão até cessar a fumaça, com a porta aberta, sendo depois a porta fechada e aguardado por mais seis horas.

Figura 9 – Cadinhos com cinzas



Fonte: OLIVEIRA JÚNIOR

Foi feita, posteriormente, nova pesagem em balança semi-analítica. Para o teor de cinzas (Figura 9 e Tabela 8), foi utilizada a equação a seguir:

$$Cinzas = \frac{m_{cadinho+cinzas} - m_{cadinho}}{m_{amostra}} \times 100$$

Pela determinação do teor de voláteis e de cinzas pode-se determinar o teor de carbono fixo (tabela 9) que é dado pela seguinte equação:

$$CF = 100 - (Cinzas + Voláteis)$$

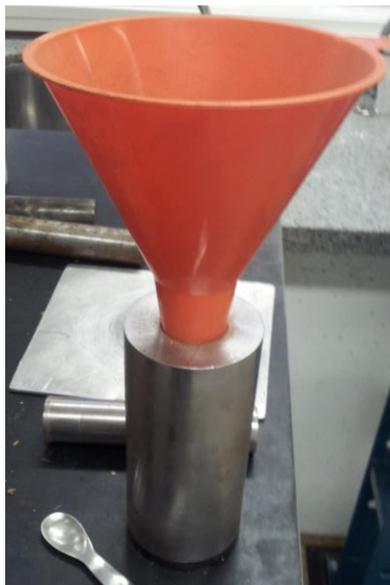
Para a briquetagem utilizou-se uma prensa hidráulica de pressão máxima de 15 toneladas, um molde cilíndrico com diâmetro de 3,5 cm e altura de 16 cm para confecção de 17 briquetes da amostra de verão e 10 briquetes da amostra de inverno (tabela 10) com umidade previamente determinada e uma balança analítica para mensurar 20g de resíduos lignocelulósicos na confecção de cada briquete (Figuras 10 e 11).

Figura 10 – Pesagem em balança analítica



Fonte: OLIVEIRA JÚNIOR

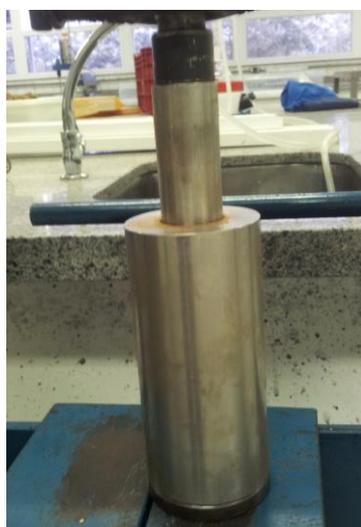
Figura 11 – Molde de briquetes com funil



Fonte: OLIVEIRA JÚNIOR

Para a formação dos briquetes, cada corpo de prova foi submetido a uma pressão de 12 toneladas fixas durante por 30 segundos (Figuras 12 e 13), numerados e com o auxílio de um paquímetro digital, mediu-se a altura de cada briquete (Figura 14 e Tabela 10).

Figura 12 – Molde de biquete com êmbolo na prensa



Fonte: OLIVEIRA JÚNIOR

Figura 13 – Molde de biquete com êmbolo na prensa



Fonte: OLIVEIRA JÚNIOR

Figura 14 – Briquetes moldados e numerados (briquetes 01 a 05)



Fonte: OLIVEIRA JÚNIOR

O volume do material triturado e o volume do briquete podem ser comparados pelas Figuras 15 e 16.

Figura 15 – Comparação dos volumes do material *in natura* e comprimido – a



Fonte: OLIVEIRA JÚNIOR

Figura 16 – Comparação dos volumes do material *in natura* e comprimido - b



Fonte: OLIVEIRA JÚNIOR

Nos dez primeiros briquetes foram efetuados ensaios mecânicos de tração por compressão diametral adaptada para briquetes da norma ABNT NBR 7222, para concretos, com a máquina de ensaios de ruptura no método de tração por compressão diametral 500 kgf, na máquina Emic 2133, Célula: Trd 24, com os resultados numéricos e gráficos a seguir (Tabelas 12a e 12b e Figuras 20a e 20b).

Para a análise de friabilidade ou desagregação por tamboreamento, 5 briquetes (13, 14, 15, 16 e 17) foram pesados, somando 100,06 g, em sequência foram colocados no tamboreador (Figura 17), permaneceram por 17 minutos em tamboreamento com rotação de 15 RPM, em seguida os briquetes foram novamente pesados (Figura 18), conforme Tabela 11.

Figura 17 – equipamento para ensaio de friabilidade (desagregação por tamboramento)



Fonte: OLIVEIRA JÚNIOR

Figura 18 – Briquetes após o ensaio de tamboramento (briquetes 13 a 17)



Fonte: OLIVEIRA JÚNIOR

Com relação ao poder calorífico, foram realizados dois ensaios de cada amostra na UNESP – Campus Itapeva. As variações de resultado de uma mesma amostra se devem à heterogeneidade desta amostra. As análises foram feitas no

Calorímetro Adiabático C-5000 IKA®² (Figura 19). A maior preocupação é sempre em ter uma amostra homogênea, para que a mesma represente o lote analisado, o que melhora com a moagem.

Figura 19 - Calorímetro Adiabático C-5000 IKA®



Fonte: LABCONTROL

A amostra foi enviada já preparada (homogeneizada e moída), na UNESP foi feita a pesagem da amostra que vai ao equipamento em uma balança analítica, cerca de meio grama (variação de acordo com a densidade da amostra).

Paralelamente ao ensaio de poder calorífico foi realizada a análise do teor de umidade, que foi e associada ao resultado da análise do poder calorífico. Os resultados são apresentados na Tabela 13.

² Calorímetro automático para determinação do poder calorífico em mostras sólidas e líquidas. Trabalha com os métodos ADIABÁTICO, ISOPERIÓLICO E DINÂMICO que atende as todas as normas da ASMT 240D, 5865D, DIN 51900, ISO 1928 e BSI - LABCONTROL - Instrumentos Científicos Ltda.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como resultado do levantamento entre os condomínios temos as tabelas a seguir, verifica-se, de acordo com a Tabela 1, a relação entre as áreas totais e as áreas verdes dos condomínios:

Tabela 1 - Relação de Áreas

condomínio/ loteamento	área total (m ²)	área verde (m ²)	% área verde
B	119.023,91	35.428,73	29,77%
C	1.054.870,83	329.281,83	31,22%
D	30.500,00	6.000,00	19,67%

Fonte: OLIVEIRA JÚNIOR

Nota-se que, tabela 1, que quanto maior for o condomínio, maior será a área verde destinada, por sua vez, maior será o volume de resíduos gerados, tabela 2, necessitando de uma frequência maior para retirar estes materiais.

Na Tabela 2, podemos observar o volume de resíduos vegetais e a frequência das coletas:

Tabela 2 - Volume e Frequência

condomínio/ loteamento	volume médio de resíduos (m ³ /mês)	frequência da coleta (dias/mês)
B	24,00	1,00
C	520,00	26,00
D	60,00	12,00

Fonte: OLIVEIRA JÚNIOR

Os volumes de resíduos vegetais apresentam variações que se justificam pelo tipo de ação que cada condomínio aplica, como a remoção total ou parcial, quando o volume é percebido.

A Tabela 3 apresenta os custos gerados com os resíduos vegetais, desde sua coleta até a destinação final:

Tabela 3 - Descarte e Custo

condomínio/ loteamento	forma de descarte	custo mensal do processo (R\$)
B	caçamba	1.048,00
C	caminhão	9.149,33
D	caçamba	2.296,00

Fonte: OLIVEIRA JÚNIOR

Verifica-se, tabela 3, que o custo mensal para retirar o material a ser descartado é alto, por isso, justifica-se a pesquisa por alternativas para a redução deste custo econômico e também ambiental.

Para as amostras do condomínio foram apurados os seguintes valores de umidade:

Tabela 4 – Umidade das Amostras

Amostra	Umidade % em peso
verão	12,19 %
inverno	13,39 %

Fonte: OLIVEIRA JÚNIOR

Conforme Hamada (2003), a umidade dos restos de jardim tem uma representatividade na faixa de 30% a 80% do peso das amostras, com valor típico de 60% do peso.

A baixa umidade encontrada nas amostras dos períodos de inverno e de verão pode ser explicada pela coincidência de dois fatores, a incidência solar nas amostras no período das coletas, bem como pela baixa umidade relativa do ar nesses mesmos períodos.

Tabela 5 – Classificação Granulométrica

Peneira	Retido	Retido	Retido	Retido
	Verão	Verão	Inverno	Inverno
	(g)	(%)	(g)	(%)
20 mesh	77,84	77,86	59,39	59,38
35 mesh	11,71	11,71	19,59	19,59
60 mesh	4,63	4,63	11,29	19,28
100 mesh	2,44	2,44	4,98	4,98
200 mesh	2,02	2,02	3,26	3,26
fundo	1,39	1,39	1,51	1,51

Fonte: OLIVEIRA JÚNIOR

A diferença entre as amostras na classificação granulométrica é explicada pela variedade de espécies de vegetação nas duas estações do ano, conforme a Tabela 6, disponibilizada pelo Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura – CEPAGRI - UNICAMP, que apresenta as variações de temperatura e índice pluviométrico para a cidade de Araçoiaba da Serra.

Tabela 6 – Classificação Climática de Koeppen: Cwa

MÊS	TEMPERATURA DO AR (°C)			CHUVA (mm)
	Mín. média	Máx. média	média	
JAN	18.2	29.5	23.9	206.1
FEV	18.5	29.6	24.0	164.8
MAR	17.7	29.1	23.4	129.5
ABR	14.9	27.1	21.0	60.1
MAI	12.2	25.0	18.6	69.2
JUN	10.6	23.8	17.2	56.3
JUL	10.0	24.0	17.0	44.9
AGO	11.3	25.9	18.6	42.5
SET	13.2	26.7	20.0	78.2
OUT	14.9	27.5	21.2	115.3
NOV	16.0	28.4	22.2	112.2
DEZ	17.5	28.5	23.0	169.4
Ano	14.6	27.1	20.8	1248.5
Min	10.0	23.8	17.0	42.5
Max	18.5	29.6	24.0	206.1

Fonte: CEPAGRI

Pela Tabela 6 observa-se a grande variação de temperatura e volume de chuvas, sendo que as menores temperaturas do inverno também possuem os menores índices pluviométricos e as maiores temperaturas são seguidas dos maiores índices pluviométricos.

Tabela 7 – Teor de Voláteis

Amostra	Voláteis	Voláteis	Média (%)
	Verão (%)	Inverno (%)	
1	84,11	83,36	83,735
2	86,52	85,05	85,785
3	83,87	84,80	84,335

Fonte: OLIVEIRA JÚNIOR

Os valores resultantes dos ensaios de teor de voláteis, tabela 7, foram superiores aos disponíveis em literatura para podas de várias espécies de eucaliptos [madeira e casca], que tem o valor médio de 81,48%. (BRITO; BARRICHELO, 1978).

Tabela 8 – Teor de Cinzas

Amostra	Cinzas Verão (%)	Cinzas Inverno (%)	Média (%)
1	8,65	11,42	10,035
2	8,58	11,34	9,96
3	9,96	11,24	10,60

Fonte: OLIVEIRA JÚNIOR

Para o valor apurado de teor de cinzas, tabela 8, observou-se valor médio bem superior ao valor médio da literatura que é de 1,58%. Estes valores superiores foram encontrados devido a interferentes da matéria prima (poda), a terra, entre outros. (BRITO; BARRICHELO, 1978).

Tabela 9 – Teor de Carbono Fixo

	CF Verão (%)	CF Inverno (%)	Média (%)
Carbono Fixo	6,55	4,26	5,40

Fonte: OLIVEIRA JÚNIOR

Os valores obtidos para os ensaios de teor de carbono fixo, tabela 9, foram inferiores aos encontrados na literatura. Os valores de disponíveis em literatura para podas de espécies de eucaliptos [madeira e casca], tem a média de 15,40%. (BRITO; BARRICHELO, 1978).

Tabela 10 – Relação de briquetes

Briquete	Peso Verão (g)	Altura Verão (mm)	Peso Inverno (g)	Altura Inverno (mm)
1	20,18	18,12	20,16	17,48
2	20,17	18,80	20,09	17,13
3	20,12	18,45	20,02	17,01
4	20,20	18,51	20,06	17,29
5	20,15	18,54	20,02	17,01
6	20,12	18,38	20,11	17,17
7	20,18	18,66	20,07	17,40
8	20,14	18,08	20,16	17,23
9	20,15	18,28	20,09	17,07
10	20,19	18,56	20,18	17,14
11	20,17	18,65	-	-
12	20,13	17,32	-	-
13	20,15	18,55	-	-
14	20,13	18,02	-	-
15	20,14	18,50	-	-
16	20,14	18,70	-	-
17	20,13	18,76	-	-

Fonte: OLIVEIRA JÚNIOR

Os briquetes puderam se formar, não houve ruptura ou desagregação dos resíduos componentes dos briquetes, apontando, o método utilizado, para a viabilidade.

Tabela 11 – Densidade e volume

Amostra	In natura (kg/m ³)	Briquete (kg/m ³)	Redução do volume (%)
Verão (g/cm ³)	22,5	112,8	80,06
Inverno (g/cm ³)	23,4	112,5	79,20

Fonte: OLIVEIRA JÚNIOR

De acordo com Hamada (2003), a massa específica de restos de jardim tem uma densidade que pode variar numa faixa de 59 a 225 kg/m³, neste estudo foram apuradas densidades inferiores, conforme dados da tabela 11, tal fato pode ser explicado pela variedade e pela baixa umidade das amostras, tabela 4, [umidade máxima de 13,39%].

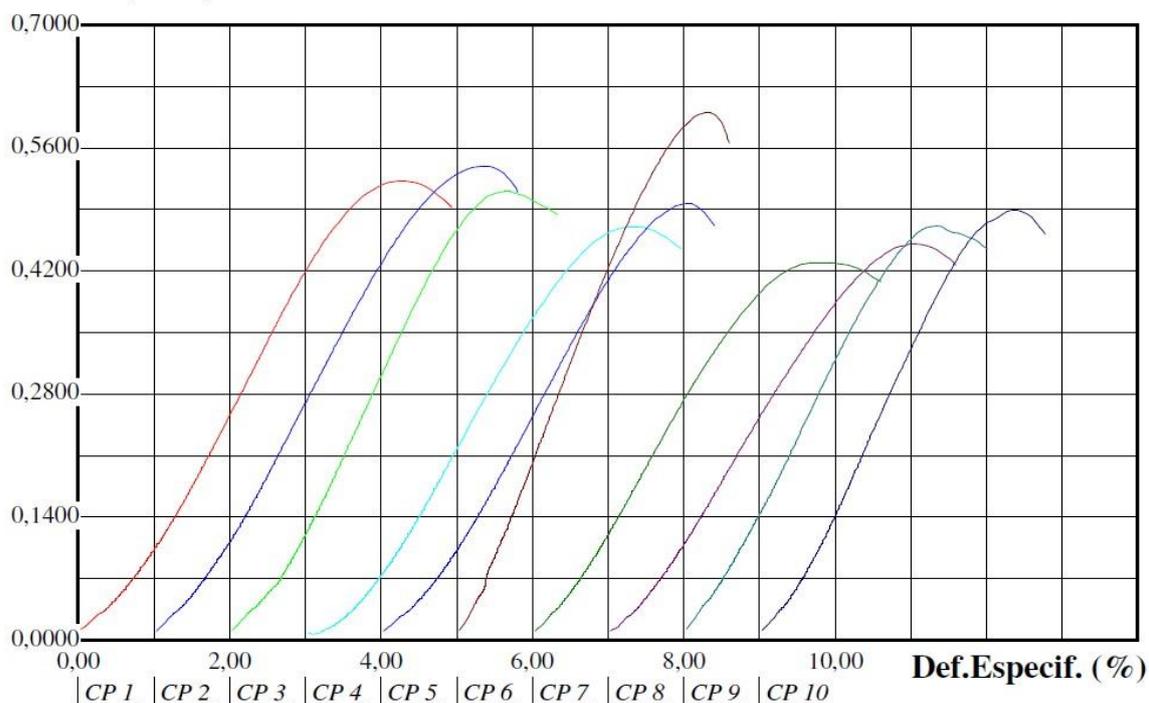
Observamos a redução média do volume em 79,63 % no processo de briquetagem, a redução de volume é muito importante para o armazenamento, transporte e manuseio do material, propiciando a redução de custos.

Tabela 12a – Ensaio de Tração por Compressão Diametral – Material de Verão

Corpo de Prova	Força (kgf)	Deformação (mm)	Tensão (MPa)	MOE (MPa)
CP 1	61,75	1,55	0,52	16,71
CP 2	63,73	1,56	0,54	16,45
CP 3	60,75	1,3	0,51	18,57
CP 4	55,8	1,56	0,47	15,75
CP 5	59,15	1,45	0,5	16,21
CP 6	66,21	1,18	0,6	22,71
CP 7	51,33	1,35	0,43	15,57
CP 8	53,49	1,46	0,45	14,75
CP 9	54,43	1,2	0,47	18,14
CP 10	57,22	1,22	0,49	19,53
Número CPs	10	10	10	10
Média	58,39	1,384	0,4985	17,44
Mediana	58,19	1,403	0,4932	16,58
Desvio.Padrão	4,77	0,152	0,04879	2,369
Coefficiente.Var.(%)	8,17	10,98	9,786	13,59
Mínimo	51,33	1,178	0,4301	14,75
Máximo	66,21	1,563	0,6008	22,71

Fonte: OLIVEIRA JÚNIOR

Figura 20a – Ensaio de Tração por Compressão Diametral – Material de Verão



Fonte: OLIVEIRA JÚNIOR

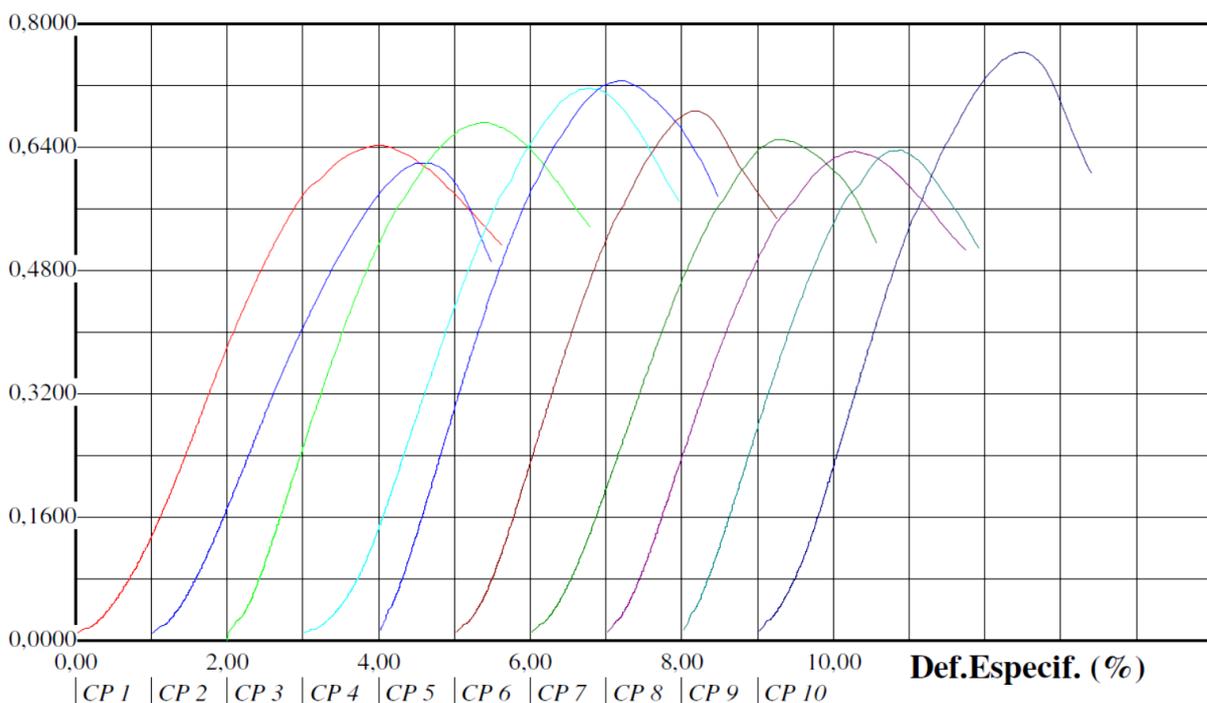
Tabela 12b – Ensaio de Tração por Compressão Diametral – Material de Inverno

Corpo de Prova	Força (kgf)	Deformação (mm)	Tensão (MPa)	MOE (MPa)
CP 1	71,16	1,43	0,64	25,62
CP 2	68,50	1,30	0,62	24,52
CP 3	73,26	1,24	0,67	30,15
CP 4	77,94	1,36	0,72	29,17
CP 5	78,65	1,16	0,73	32,76
CP 6	74,73	1,15	0,69	31,65
CP 7	71,21	1,18	0,65	27,84
CP 8	70,43	1,18	0,63	29,19
CP 9	70,15	1,05	0,64	31,15
CP 10	82,82	1,26	0,76	32,61
Número CPs	10	10	10	10
Média	73,89	1,229	0,6755	29,47
Mediana	72,23	1,209	0,6614	29,67
Desvio.Padrão	4,589	0,111	0,04747	2,806
Coefficiente.Var.(%)	6,211	9,057	7,028	9,522
Mínimo	68,50	1,047	0,6207	24,52
Máximo	82,82	1,425	0,7643	32,76

Fonte: OLIVEIRA JÚNIOR

Figura 20b – Ensaio de Tração por Compressão Diametral – Material de Inverno

Tensão (MPa)



Fonte: OLIVEIRA JÚNIOR

Os resultados obtidos nos ensaios de tração por compressão diametral foram superiores aos da literatura pesquisada que atingiu o valor máximo de 38,41 Kgf. (ALÓ et al, 2012). Os testes, tabelas 12a e 12b, apontam para um produto de boa resistência mecânica, propiciando também a possibilidade de transporte e manuseio.

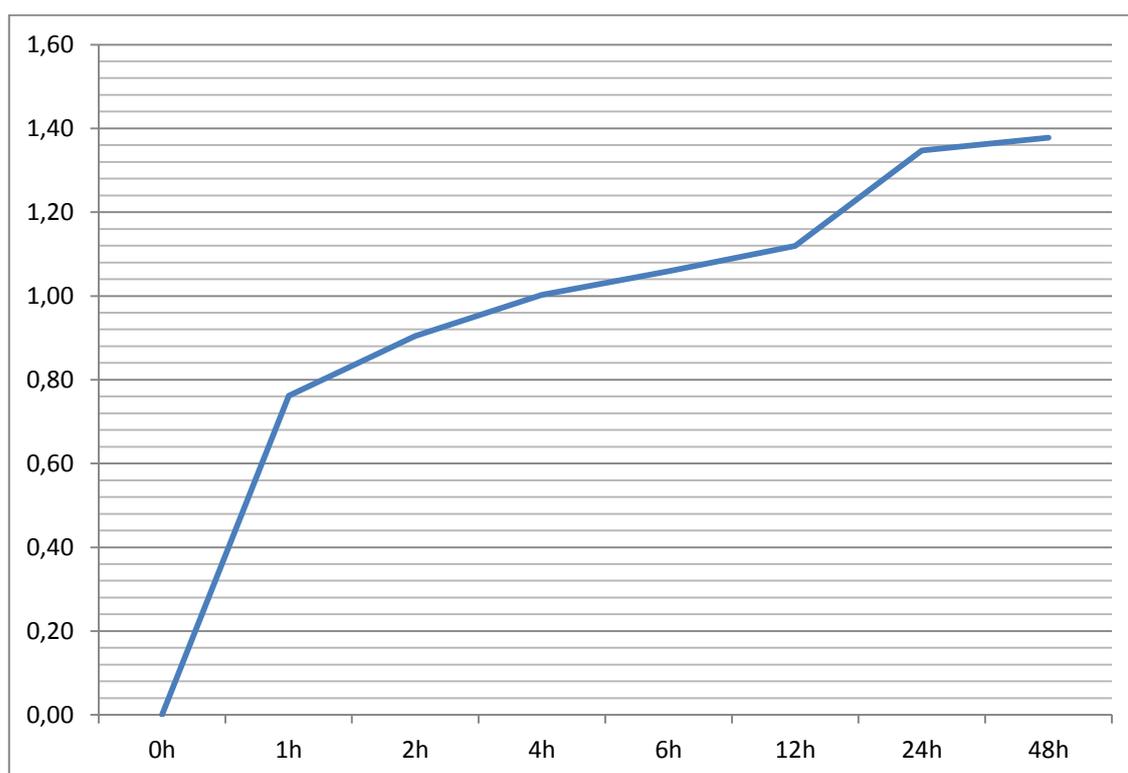
Tabela 13 – Ensaio de friabilidade

Amostra	Inicial (g)	Final (g)	Redução do volume (%)
5 briquetes	100,06	81,11	18,94

Fonte: OLIVEIRA JÚNIOR

O resultado do tamboramento (tabela 13) demonstra que a friabilidade, nas condições do teste, atingiu o valor de 18,94 %, não houve desagregação como ruptura dos briquetes, mas o desgaste das extremidades, tão somente, essa informação é importante para a viabilidade do processo logístico, ou seja, o transporte e a estocagem. De acordo com a literatura utilizada, o ensaio coincide com a média da literatura (QUIRINO, 1991).

Figura 21 – Gráfico de expansão (mm/t) dos briquetes dentro de 48 horas



Fonte: OLIVEIRA JÚNIOR

De acordo com a literatura utilizada, que trata de serragem de eucalipto, resíduos de milho e casca de café (PROTÁSIO et al, 2011), o índice de expansão numa composição média atinge o valor de 10,44%, o índice de expansão para os briquetes deste estudo foi inferior, com valor de 6,84%.

Tabela 14 - Resultados das análises de poder calorífico

Material Ensaiado	Peso (g)	Umidade (% massa)	Poder Calorífico Superior (cal/g)
Amostra 1-a	5,16	9,59	3.647,42
Amostra 1-b	5,16	9,59	3.641,92
Amostra 2-a	5,10	9,73	3.663,90
Amostra 2-b	5,10	9,73	3.638,82

Fonte: UNESP - Itapeva

O poder calorífico superior médio das amostras, tabela 14, pode ser comparado à lenha in natura.

De acordo QUIRINO et al. (2004) “num total de 258 espécimes (arbóreas), constata-se que o poder calorífico (superior) médio das madeiras variou entre 4.685 e 4.736 kcal/kg-1, ou seja, um poder calorífico médio de 4.710 kcal/kg”. No mesmo estudo desse autor apurou-se o poder calorífico inferior de algumas espécies que ficou na faixa de 3.092 a 4.174 cal/g.

Demonstra-se, contudo, que a queima do briquete além de gerar energia (CORTEZ, 2011), reduz drasticamente o volume dos resíduos. Para o meio ambiente, a queima de materiais como o briquete de resíduos de poda e jardinagem reduz o corte de árvores e o volume de aterros e lixões, logo, é de grande valia.

CONCLUSÃO

Novas soluções para o aproveitamento dos resíduos de podas de jardim e árvores devem ser uma meta a se buscar constantemente, ações nesse sentido já podem ser consideradas, tal como a produção de briquetes, pois, de acordo com as análises deste trabalho, a produção de briquetes com o uso de podas de árvores e de jardinagem pode ser tecnicamente viável, ainda que contenha resíduos de materiais inorgânicos misturados à matéria prima destes briquetes (terra, por exemplo), como foram demonstrados nos testes de teores de voláteis e também de cinzas.

Os briquetes produzidos demonstraram boa resistência mecânica e pequena desagregação em laboratório, permitindo assim a logística de estocagem e transporte.

A redução no volume de resíduos atingiu a média de 79,63%, dado importante para a adoção dessa tecnologia, devido aos problemas de volume relatados.

Este estudo confirma que briquetes podem ser produzidos a partir de resíduos lignocelulósicos não puros, ou seja, mistos e coletados a partir de poda de árvores e de jardinagem, tais como podas de gramíneas, espécies arbustivas e arbóreas variadas.

A possibilidade da briquetagem pode promover a utilização dos resíduos verdes de condomínios, loteamentos fechados, empresas distribuidoras de energia e prefeituras municipais. A produção de briquetes pode reduzir a produção de metano por decomposição, o volume em aterros, o custo de áreas com a compostagem, custo de transporte do material *in natura* ao aterro sanitário e pode ainda gerar energia térmica, logo, elétrica.

Resta ser verificado se o retorno financeiro pode justificar a adoção deste processo, para tanto, outros estudos técnicos são necessários, como o preço de mercado para os briquetes como produto final e sua aceitação como combustível substituto, assim poderá ser determinada a viabilidade econômica.

Este trabalho demonstra resultados preliminares, contudo que apresentam o caminho a seguir na busca de soluções técnicas e ambientalmente adequadas para o bom emprego dos resíduos de podas de árvores e de jardinagem

e para a preservação do ambiente, também para firmar a biomassa e a briquetagem como forma de produção de energia sustentável e renovável.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). **ASTM D1102:** Standard Test Method for Ash in Wood. West Conshohocken, PA, USA, 1984. 2 p.

ANTUNES, R. C. Briquetagem de carvão vegetal. In: PENEDO, W. R. **Produção e utilização de carvão vegetal**. Belo Horizonte: CETEC, 1982. v.1, p.197-206.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2011**, São Paulo: Grappa, 2011. 184 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7222:** Argamassa e Concreto. Rio de Janeiro, 1994. 3 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 8112:** Carvão vegetal – análise imediata. Rio de Janeiro, 1986. 6 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10004:** Resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004. 71 p.

BENJAMIN, C. Nossos verdes amigos. **Teoria & Debate**, São Paulo, v. 12, p. 6-20, 1990.

BRASIL. Senado Federal. Agenda 21 - Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento. **Capítulo 4:** Mudança de Padrões de Consumo. 3. ed. Brasília: Senado Federal; Subsecretaria de Edições, 2001. 598 p.

BRASIL. Senado Federal. Agenda 21 - Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento. **Capítulo 7:** Promoção do Desenvolvimento Sustentável dos Assentamentos Humanos . 3. ed. Brasília: Senado Federal; Subsecretaria de Edições, 2001. 598 p.

BRASIL. Presidência da República. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. Lei 12.305/2010 (LEI ORDINÁRIA) 02/08/2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, 03 de agosto de 2010, p. 2. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Lei/L12305.htm>. Acesso em: 21 ago. 2013.

BRITO, J. O; BARRICHELO, L. E. G. **Características do eucalipto como combustível: análise química imediata da madeira e da casca**. IPEF, Piracicaba, n.16, p.63-70, 1978.

BROSCH, C. D.; FURUNO, J. K. Aproveitamento dos finos de carvão vegetal: divisão de metalurgia do IPT: contribuição técnica número 748. In: CONGRESSO ANUAL DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE METALURGIA E MATERIAIS, 22., 1968, Vitória. **Anais...** Vitória: ABM, 1968. p. 2.

CALDEIRA, T. P. R. **Cidade de muros**: crime segregação e cidadania em São Paulo. 2. ed. São Paulo: Edusp, 2003.

CARLOS, A. F. A. **O lugar no/do mundo**. São Paulo: FFLCH, 2007a. 85 p.

CARLOS, A. F. A. **O espaço urbano**: novos escritos sobre a cidade. São Paulo: Labur Edições, 2007b. 123 p.

CENTRO DE PESQUISAS METEOROLÓGICAS E CLIMÁTICAS APLICADAS À AGRICULTURA (CEPAGRI). Universidade Estadual de Campinas. **Clima dos municípios paulistas**. Disponível em: <http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima_muni_033.html>. Acesso em: 02 setembro 2013.

COELHO, J. C. **Biomassa - biocombustíveis - bioenergia**. Brasília: Ministério das Minas e Energia. 1982. 100 p.

CORRÊA, R. L. **O espaço urbano**. São Paulo: Ática, 1989. 94 p.

CORTEZ, C. L. **Estudo do potencial de utilização da biomassa resultante da poda de árvores urbanas para a geração de energia**: estudo de caso: AES Eletropaulo. 2011. 246 f. Tese (Doutorado – Programa de Pós-Graduação em Energia) – EP / FEA / IEE / IF da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

FILIPPETO, D. **Briquetagem de resíduos vegetais: viabilidade técnico-econômica e potencial de mercado**. 2008. 61 f. Dissertação (Mestrado em Planejamento em Sistemas Energéticos) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

FLORES, W. P.; YAMAJI, F. M.; Vendrasco, L.; COSTA, D. R. Redução do volume de biomassa no processo de briquetagem. **Revista da Madeira**, São Paulo, v. 121, p. 32-34, 2009.

FONTES, P. J. P. de et al. **Aglutinante para briquetagem de carvão vegetal**. Brasília: DPQ/IBDF, 1984. Não paginado.

GREENPEACE. Brasil pode ter 93% da matriz energética limpa até 2050. **Portal Celulose Online**. 2010. Disponível em: <<http://www.celuloseonline.com.br/noticias/Brasil+pode+ter+93+da+matriz+energtica+limpa+at+2050>> Acesso em: 21 ago. 2013.

HAMADA, J. **Resíduos sólidos**: conceituação e caracterização. Bauru: Universidade Estadual Paulista (UNESP); Faculdade de Engenharia de Bauru, 2003. 18 p. (Grupo de Estudos de Resíduos Sólidos).

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico - PNSB 2008**. Rio de Janeiro, 2010. 219 p.

JAMES, Bárbara. **Lixo e reciclagem**. São Paulo: Scipione, 1997. 43 p.

LORA, E. E. S.; ANDRADE, R. V. Geração de energia e gaseificação de biomassa. **Biomassa & Energia**, Viçosa, v. 1, n. 3, p. 311-320, 2004.

LUNA, M. L. D. de et al. Comportamento de macronutrientes em reator anaeróbio compartimentado tratando resíduos sólidos orgânicos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 22., 2003, Joinville. **Anais...** Rio de Janeiro: ABES, 2003. 10 p.

MARCUSE, H. **A ideologia da sociedade industrial**. Rio de Janeiro, 1968. 238 p.

ORMOND, J. G. P. **Glossário de termos usados em atividades agropecuárias, florestais e ciências ambientais**. 3. ed. Rio de Janeiro: BNDES, 2006. 54 p.

ORTIZ, L. **Aprovechamiento energético de la biomasa forestal**. Vigo: Gamesal, 1996. 330 p.

PROTÁSIO, T.P. et al. Compactação de biomassa vegetal visando à produção de biocombustíveis sólidos. **Pesquisa Florestal**, Colombo, v. 31, n. 68, p. 273-283, 2011. Disponível em: <<http://www.cnpf.embrapa.br/pfb/index.php/pfb/article/view/288>>. Acesso em: 26 ago. 2013.

QUIRINO, W. F. **Características e Índice de combustão de briquetes de carvão vegetal**. 1991. 64 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1991.

QUIRINO, W. F. **Briquetagem de resíduos ligno-celulósicos**. Brasília: Laboratório de Produtos Florestais – LPF/IBAMA, 2004. 10 p.

QUIRINO, W.F. et al. **Poder Calorífico da Madeira e de Resíduos Lignocelulósicos**. **Biomassa & Energia**, [S.l.], v. 1, n. 2, p. 173-182, 2004. Disponível em:< <http://www.renabio.org.br/06-B&E-v1-n2-2004-173-182.pdf>> Acesso em: 26 ago 2013.

SALEME, J. E. F. **Estudo básico para briquetagem do carvão vegetal**. Ouro Preto: Escola de Minas e Metalurgia, 1992. 19 p.

SANTOS, M. **A natureza do espaço: técnica e tempo, razão e emoção**. 4. ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2004.

VALE, A. T.; GENTIL, L. V. Produção e uso energético de biomassa e resíduos agroflorestais. In:_____. **Tecnologias aplicadas ao setor madeireiro III**. Rio Branco: Suprema, 2008. p.195-241.

APÊNDICE

Pesquisa sobre Compostagem em Condomínios Horizontais

Pesquisador Responsável: **Evônio Marques de Oliveira Júnior – R.A. 58510141**

Orientador: **Prof. Dr. Ismail Barra Nova de Melo**

Finalidade Acadêmica: **Pós-Graduação – Mestrado**

Data da Pesquisa: ___/___/____ Cidade: _____ Condomínio: _____

Esta pesquisa tem caráter acadêmico, os dados fornecidos não contemplam a identidade do informante, bem como os dados do condomínio/loteamento fechado pesquisado.

QUESTIONÁRIO

1 – Qual é a área total do condomínio/loteamento fechado (m²)?

2 – Qual é o total em áreas verdes do condomínio (áreas comuns e particulares) que geram resíduos vegetais (aparas, podas, etc.) (m²)?

3 – Qual é o volume médio de resíduos vegetais produzido nessas áreas e qual é a frequência dessa coleta?

4 – O condomínio/loteamento fechado possui área para compostagem? Em caso afirmativo, qual é a área disponível (m²)?

5 – Como se dá o descarte desse resíduo vegetal?

6 – Qual é o custo/despesa gerada para esse processo de eliminação?
