

**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Uso energético de resíduos madeiros em um pólo de produção
de cerâmicas vermelhas do Estado de São Paulo**

Guilherme de Andrade Lopes

Tese apresentada para obtenção do título de
Doutor em Ciências, Programa: Recursos
Florestais. Opção em: Tecnologia de Produtos
Florestais.

**Piracicaba
2012**

Guilherme de Andrade Lopes
Engenheiro Florestal

**Uso energético de resíduos madeiros em um pólo de produção de
cerâmicas vermelhas do Estado de São Paulo**

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Prof. Dr: **JOSÉ OTÁVIO BRITO**

Tese apresentada para obtenção do título de
Doutor em Ciências, Programa: Recursos
Florestais. Opção em: Tecnologia de Produtos
Florestais

**Piracicaba
2012**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA - ESALQ/USP**

Lopes, Guilherme de Andrade

Uso energético de resíduos madeireiros em um pólo de produção de cerâmicas vermelhas do Estado de São Paulo / Guilherme de Andrade Lopes.- - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2012.
100 p: il.

Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2012.

1. Biomassa 2. Cerâmica 3. Energia 4. Madeira 5. Resíduos madeireiros
I. Título

CDD 634.983
L864u

“Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor”

OFEREÇO

A Deus, pelo presente da vida.

À minha esposa Débora, pelo apoio, incentivo e companhia imprescindível.

À minha filha Clara, inspiração maior para a conclusão desse trabalho.

À minha mãe Neusa e minha avó Joana pelo carinho e pelas orações.

Agradecimentos

Ao Departamento de Ciências Florestais da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da Universidade de São Paulo pela oportunidade de aprimoramento profissional.

Ao Professor Doutor José Otávio Brito, pela competente orientação, pela amizade e confiança em mim depositada.

Ao Professor Doutor José Nivaldo Garcia pela imprescindível colaboração.

Ao Professor Doutor Mário Tomazello Filho, pelo apoio como coordenador do Curso de Pós-Graduação em Recursos Florestais.

Ao Gustavo Barfran por todas as contribuições ao trabalho.

À ACERTAR (Associação das Cerâmicas de Tatuí e Região) e à ACERVIR (Associação das Cerâmicas Vermelhas de Itu e Região) pelas informações setoriais fornecidas.

Às cerâmicas Barfran, Colina, Enz Hubert, Itália, Mariáh, Milano, Moderna, Palma de Ouro, Penatti, Zampaolo, Setem e Tatuí, pela concessão do material de estudo, informações prestadas e disposição de mão-de-obra para coleta do material.

Ao colega Eng. Ftal. José Carlos Arthur Junior pelo apoio na execução e interpretação das análises estatísticas.

Às colegas Maria Andréia Moreno e Bruna Ibañes pelo auxílio na editoração desse trabalho.

Ao colega Ricardo Camargo Cardoso pelas sugestões na versão do Abstract.

Aos funcionários e estagiários do Laboratório de Química, Celulose e Energia - LQCE, do Departamento de Ciências Florestais da ESALQ/USP, em especial Udemilson Luis Ceribelli, Luana Beatriz Rodrigues Leme, Guilherme da Silva Grassmann e Vinicius Ceribelli, pela ajuda nas análises de laboratório.

A todos aqueles que de uma forma ou de outra colaboraram para a realização deste trabalho.

Epígrafe

“É sempre no passado aquele orgasmo,
É sempre no presente aquele duplo.
É sempre no futuro aquele pânico.

É sempre no meu peito aquela garra.
É sempre no meu tédio aquele aceno.
É sempre no meu sono aquela guerra.

É sempre no meu trato o amplo distrato.
Sempre na minha firma a antiga fúria.
Sempre no mesmo engano outro retrato.

É sempre nos meus pulos o limite.
É sempre nos meus lábios a estampilha.
É sempre no meu não aquele trauma.

Sempre no meu amor a noite rompe.
Sempre dentro de mim meu inimigo.
E sempre no meu sempre a mesma ausência.”

Carlos Drummond de Andrade

SUMÁRIO

RESUMO.....	11
ABSTRACT	13
1 INTRODUÇÃO	19
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	23
2.1 Dados históricos sobre a utilização da biomassa.....	23
2.2 Setor de cerâmica	27
2.2.1 Informações gerais.....	27
2.2.2 Processo de produção de cerâmica vermelha	31
2.2.3 Processo de secagem de produtos cerâmicos.....	34
2.2.4 Processo de queima de produtos cerâmicos.....	36
2.3 Parâmetros de qualidade da biomassa	36
2.3.1 Teor de umidade	38
2.3.2 Granulometria.....	40
2.3.3 Densidade básica e densidade a granel	41
2.3.4 Poder calorífico	42
2.3.5 Composição química elementar	43
2.3.6 Queima da biomassa e a emissão de poluentes.....	44
3 MATERIAL E MÉTODOS	45
3.1 Material.....	45
3.1.1 Caracterização da área de estudo	45
3.2 Métodos.....	50
3.2.1 Amostragem da biomassa.....	50
3.2.2 Caracterização da biomassa.....	53
3.2.2.1 Teor de umidade	53
3.2.2.2 Densidade a granel	54
3.2.2.3 Avaliação da composição da biomassa.....	54
3.2.2.4 Granulometria.....	55
3.2.2.5 Poder calorífico	56
3.2.2.6 Teor de cinzas.....	57
3.3 Análises estatísticas.....	57
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	59
4.1 Diagnóstico do setor de cerâmica e dos empreendimentos visitados	59

4.2 Caracterização da biomassa	63
4.3 Teor de umidade.....	68
4.4 Densidade a granel.....	71
4.5 Granulometria	76
4.6 Poder calorífico.....	80
4.7 Teor de cinzas	81
5. CONCLUSÕES/CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	85
REFERÊNCIAS	87
ANEXOS.....	95

RESUMO

Uso energético de resíduos madeireiros em um pólo de produção de cerâmicas vermelhas do Estado de São Paulo

O uso da biomassa florestal é uma importante alternativa de fonte energética renovável, econômica, técnica e ambientalmente viável, disputando espaço com outras fontes energéticas, mais caras ou não renováveis, tais como gás natural, eletricidade, óleo diesel e GLP. Dentro do setor industrial, maior consumidor de energia a partir de biomassa, destaca-se o segmento de cerâmicas vermelhas, tradicional consumidor de lenha para a produção de energia. Uma considerável parcela de empresas deste setor recentemente passou a utilizar, como alternativa de energia, cavacos, produzidos a partir de resíduos madeireiros diversos. A opção por esse tipo de biomassa se deve a quatro principais razões: maior disponibilidade desse material para aquisição no mercado; envolver um importante aspecto ambiental, uma vez que se trata de um material reciclado; por proporcionar uma maior homogeneidade durante a combustão, quando comparado com a lenha; e possibilita a automação da alimentação dos fornos. Esse material, no entanto, possui alta heterogeneidade quanto à sua composição o que influencia na maioria das suas propriedades. Os cavacos amostrados nas cerâmicas foram classificados e agrupados por similaridade, sendo encontrados 10 diferentes tipos, cuja composição poderia conter materiais sólidos decorrentes do processamento de toras de pinus e eucalipto em serrarias, resíduos madeireiros oriundos da reciclagem de materiais diversos em centros urbanos, resíduos de marcenarias e outros compostos de misturas dos demais. As análises laboratoriais mais completas permitiram a classificação dos materiais por grupos mais afins: Grupo A: contendo materiais dos tipos 1, 3, 5, 6 e 7 compostos por partículas maiores e com pouca serragem. Esse grupo foi o que apresentou maior umidade, maior densidade a granel, menor poder calorífico e menor teor de cinzas; Grupo B: contendo materiais dos tipos 9 e 10, que continham mais partículas menores e principalmente serragem, apresentando menor umidade, menor densidade a granel, maior poder calorífico e maior teor de cinzas; Grupo C, concentrando os tipos 2, 4 e 8, que possuíam uma mistura mais proporcional entre partículas maiores e menores, apresentando resultados intermediários entre os Grupos A e B para as variáveis analisadas. As classificações obtidas abrem possibilidades para a proposição de critérios para a melhoria de aspectos ligados à aquisição e utilização dos resíduos madeireiros pelo setor. No mérito dos resultados específicos dos materiais, os tipos 1 e 6 foram os que ocorreram com maior frequência, estando presentes na maioria das amostras, além de ocorrerem na grande maioria das cerâmicas amostradas e ao longo de todo o período da amostragem. O cavaco do tipo 1, composto basicamente por resíduos de serraria de pinus, foi o mais frequente e considerado preferido pelo setor de cerâmica. Tal aspecto deve ser ponderado frente à tendência de escassez desse produto, dada a tendência de diminuição dos plantios da espécie no país. A densidade a granel teve correlação diretamente proporcional com a umidade, consequência dessa avaliação ter sido realizada com o material em seu estado “in natura”. Tal aspecto é relevante, pelo fato da comercialização de cavacos para energia ser realizada com base em volume.

Palavras-chave: Energia; Biomassa; Madeira; Cerâmica.

ABSTRACT

Energetic use of wood waste in one center for the production of red ceramics in São Paulo State

The use of forest biomass is an important alternative of renewable energy source, economic, technical and environmentally viable, fighting for space with other energy sources, more expensive or non-renewable, such as natural gas, electricity, diesel and LPG. Within the industrial sector, biggest consumer of biomass energy, the segment of red ceramics represents a traditional consumer of wood for the production of energy. A considerable number of companies in this sector has recently started to use, as alternative for energy production, chips made from several different wood wastes. The choice for such biomass alternative is due to four main reasons: high availability of material on the market; positive environmental advantage since it is a recycled material; higher uniformity during combustion, compared with firewood; and the possibility of implementation of automatic processing for furnace feeding. This material, however, has high heterogeneity in its composition which affects the majority of its properties. The chips were sampled in ceramics, sorted and grouped by similarity resulting in 10 different types, whose composition could contain solid materials from sawmill processing of pine and eucalyptus logs, wood waste from the recycling of various materials in urban centers, joinery waste and other compounds mixing the other materials. Laboratory analysis enabled a more complete classification of the materials by similar groups: Group A materials containing types 1, 3, 5, 6 and 7 consists of larger particles and low sawdust. This group showed higher humidity, higher bulk density, lower calorific value and lower ash content; Group B, containing materials of the type 9 and 10, which contained a higher quantity of small particles and mostly sawdust, with lower humidity, lower bulk density, higher calorific value and higher ash content; Group C, focusing on the types 2, 4 and 8, which had a more proportionate mix of larger and smaller particles presenting intermediate results between Groups A and B for the variables analyzed. The obtained ratings open up possibilities for the proposal of criteria for the improvement of the acquisition and use of wood waste by the sector. When considered the specific results of each material, types 1 and 6 were the most frequent, being present in most samples, occurring in the majority of the sampled ceramics and throughout the full period of sampling. The chip type 1, composed primarily of pine sawmill residues, was considered the most frequent and preferred by the ceramic industry. This aspect should be weighed against the trend of scarcity of the product, given the downward trend in the plantations of the tree species in the country. The bulk density had direct correlation with moisture, a result of the fact that this evaluation was carried out with material in its "in natura" state. This aspect is relevant, because the marketing chips for energy is carried out based on volume.

Keywords: Energy; Biomass; Wood; Ceramics

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Principais pólos de cerâmica vermelha no Estado de São Paulo.....	29
Figura 2	Fluxograma do Processo de produção de cerâmica vermelha	33
Figura 3	Sistema de alimentação das fornalhas por meio de esteiras rolantes.....	47
Figura 4	Localização das cerâmicas visitadas no Estado de São Paulo	48
Figura 5	Caminhão contendo carga de cavacos	49
Figura 6	Cavacos no pátio de estocagem de uma das cerâmicas.....	50
Figura 7	Exemplo de amostra coletada para ensaio	51
Figura 8	Agitador eletromagnético de peneiras e conjunto de peneiras com diferentes granulometrias	56
Figura 9	Equipamento utilizado para determinação de poder calorífico (“c 2000 calorimeter system” - ika® werke). Detalhe da bomba calorimétrica (seta vermelha)	56
Figura 10	Equipamento utilizado para análise imediata de uma amostra de resíduo utilizando-se cadinho de platina com tampa e mufla (capacidade de atingir 1.000°C)	57
Figura 11	Imagens dos dez tipos de materiais identificados durante o período de coleta.....	65
Figura 12	Freqüência dos dez tipos de cavacos nas amostras coletadas	66
Figura 13	Freqüência dos dez tipos de cavacos nas cerâmicas	67
Figura 14	Freqüência dos dez tipos de cavacos ao longo das semanas de amostragens	68
Figura 15	Correlação entre umidade e densidade a granel	72
Figura 16	Crescimento negativo da área plantada com pinus por estado, 2009-2010	75
Figura 17	Percentual dos diferentes tipos de material retido nas peneiras de 31,5 mm (a), 16,0 mm (b), 8,0 mm (c), 4,0 mm (d) e < que 4,0 mm (e). A barra junto às médias representa seu erro padrão	78

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Matriz energética brasileira por fonte de consumo	25
Tabela 2	Matriz energética brasileira por setor de consumo	26
Tabela 3	Esboço da amostragem da biomassa realizada nas cerâmicas	52
Tabela 4	Resultados obtidos dos questionários aplicados para as empresas	60
Tabela 5	Teor de umidade entre os tipos de cavacos	69
Tabela 6	Variação da densidade a granel entre os tipos de cavacos	71
Tabela 7	Variação da umidade e da densidade a granel entre os tipos de cavacos e entre cerâmicas	74
Tabela 8	Percentual de material retido dos diferentes tipos em diferentes granulometrias	77
Tabela 9	Variação da densidade a granel entre os tipos de cavacos	79
Tabela 10	Variação do poder calorífico entre os tipos de cavacos	80
Tabela 11	Análise imediata dos resíduos dos cavacos	81

1 INTRODUÇÃO

A biomassa constituída de resíduos resultantes de processos industriais é uma das alternativas consideradas para geração de energia com fontes e/ou tecnologias não convencionais.

O aumento do interesse por parte de empresas, o apoio governamental e a expansão atual do uso de fontes energéticas renováveis é favorecido principalmente pelas vantagens ambientais por elas proporcionadas, quando comparadas com outras fontes consideradas não renováveis.

Em comparação com as outras fontes renováveis, a biomassa florestal possui muitas características favoráveis adicionais, como a multiplicidade da sua origem, que pode ser do uso múltiplo das florestas ou de plantios destinados a esse fim, de resíduos florestais, industriais e urbanos.

A biomassa também apresenta maior potencial para a geração de empregos no meio rural; balanço neutro entre emissão e geração de poluentes, o que possibilita seu uso no mercado de carbono; disponibilidade de tecnologia já desenvolvida para a conversão em energia, com elevada eficiência, dentre outras.

A agroindústria e a indústria florestal, dentre elas a sucro-alcooleira, papel celulose e madeireira, são exemplos de setores que produzem resíduos com potencial importante de aproveitamento energético no Brasil. É comum, no entanto, que estes resíduos possuam grande variedade de formas, densidades, granulometrias e umidades, ou seja, considerável heterogeneidade.

Na queima direta desses resíduos, o custo do calor gerado é menor, proporcionando um custo de geração de energia mais competitivo, muito embora apresente um baixo rendimento térmico em função da umidade e heterogeneidade. Este baixo rendimento, porém, é compensado pela facilidade na obtenção do combustível a um custo mínimo.

De qualquer modo, na utilização de resíduos como combustível, sem processo de conversão prévio, visando obter combustível (sólido ou gasoso) com características mais homogêneas, é de extrema importância observar a influência das variáveis como umidade, densidade, granulometria e poder calorífico.

A madeira utilizada como combustível pode ser classificada em três grandes grupos: resíduos industriais, resíduos florestais convencionais e provenientes de florestas especificamente destinadas para uso energético (florestas energéticas).

Dentre os resíduos industriais podem ser citadas a serragem, a maravalha (cepilho), a casca das árvores e a lenha. A serragem é originada do processamento mecânicos da madeira em serrarias, podendo ser seca ou úmida. A maravalha é gerada pelas plainas nas instalações de serraria/beneficiamento, estando disponível exclusivamente no estado seco. A casca, aparas, refilos e costaneiras, geralmente apresentam altos teores de umidade e provém do descascamento, na fábrica, das toras utilizadas no processo de fabricação de celulose e papel, indústrias de painéis e em serrarias.

Outra importante fonte de biomassa utilizada atualmente para fins energéticos são os cavacos de madeira produzidos em usinas de reciclagem e que utilizam como matéria-prima resíduos de madeira provenientes de aterros municipais ou da construção civil. Esses resíduos são coletados, processados e comercializados para empresas que necessitam de energia térmica para seus processos industriais, dentre elas empresas do setor de cerâmicas.

O setor de cerâmicas, juntamente com outros segmentos industriais como do ramo do cimento, de produtos químicos, de alimentos, de bebidas, de papel e celulose é um importante consumidor de madeira para energia no Brasil. Além do mais, trata-se de um grande consumidor de energia no Brasil, sendo responsável pelo consumo de aproximadamente 5,3% do total de energia consumido por todos os setores da indústria brasileira. Destaque-se que cerca de cinquenta por cento de todo o consumo de energia utilizado por este setor provém da madeira.

O presente estudo teve por objetivo geral realizar estudos sobre o uso de resíduos madeireiros para fins energéticos, em uma abordagem junto a um pólo de produção de cerâmicas vermelhas do Estado de São Paulo.

Por objetivos específicos destacam-se:

- ✓ Quantificar, por amostragem, a participação dos resíduos madeireiros como fonte de geração de energia no setor.
- ✓ Ainda por amostragem, estratificar e classificar os resíduos utilizados por tipo e origem.

- ✓ Determinar a qualidade dos resíduos por meio de análises das propriedades tecnológicas que interferem no processo de combustão.
- ✓ Verificar aspectos estratégicos ligados à oferta e uso dos resíduos para fins energéticos no setor.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Dados históricos sobre a utilização da biomassa

A utilização de biomassa de origem florestal para transformação em energia contribuiu de forma histórica e significativa para o desenvolvimento da humanidade. O fogo proveniente da queima da madeira foi uma das primeiras fontes energéticas disponível ao homem, inicialmente empregada para o aquecimento, cocção de alimentos e iluminação. Ao longo dos tempos, passou a ser utilizada como combustível sólido, líquido e gasoso em processos para a geração de energia térmica, mecânica e elétrica (BRAND, 2007).

Com a evolução tecnológica tornou-se possível a utilização de outras fontes energéticas, fazendo com que a madeira perdesse paulatinamente a sua importância relativa (LIMA, 2000).

A lenha foi a principal fonte de energia primária no Brasil por mais de 450 anos. Faz relativamente pouco tempo que ela deixou de ser a principal fonte de energia primária em nosso país, quando, no século passado, ou mais exatamente durante a década de 1970, ela foi suplantada pelo petróleo e, em seguida, pela hidroeletricidade. A participação da madeira no balanço energético brasileiro veio decrescendo ao longo do tempo, sobretudo porque houve um incentivo maior para o uso de derivados de petróleo e hidroeletricidade, para atendimento das novas demandas energéticas (SÜFFERT; BAJAY; LIMA, 2005).

Nos últimos dez anos, no entanto, pôde-se constatar uma forte reversão nessa tendência. Isso talvez esteja sendo motivado pelas incertezas quanto à oferta de outras fontes e, sobretudo, pelas vantagens econômicas e oportunidades ambientais e estratégicas oferecidas pelo uso da madeira como fonte de energia (BRITO, 2007).

Especificamente com relação ao uso da energia hidroelétrica no Brasil, o consumo cresceu 56% de 1983 para 1998. Para o futuro, a Eletrobrás prevê altos riscos de déficit. O sistema de geração brasileiro apresenta altas características sazonais devido à origem de sua hidroeletricidade, sendo que no período de secas o risco de interrupção de energia é ainda maior. Com base nessas considerações, o governo brasileiro desenvolveu nos últimos anos políticas para o incentivo à

instalação de usinas termo-elétricas, cuja fonte energética pode ser a biomassa , em substituição ao gás natural (COELHO et al., 2002).

Considerando-se somente a biomassa oriunda da madeira, tanto de florestas energéticas como dos resíduos da transformação industrial dessa matéria-prima, o suprimento dessa fonte energética seria suficiente para garantir o fornecimento de energia sem problemas de sazonalidade, principalmente para regiões do Brasil que possuem historicamente parques florestais e indústrias que utilizam essa base (BRAND et al., 2002).

Segundo Brito et al. (2008), no Brasil, no mínimo 50% da madeira utilizada tem destinação energética, o que representa o maior volume de madeira vinculada a uma determinada utilização específica no país.

A participação da madeira na matriz energética mundial é bastante influenciada por variáveis como o nível de desenvolvimento do país, preço, disponibilidade e questões ambientais relacionadas às fontes energéticas como petróleo, gás natural, hidroeletricidade, energia nuclear dentre outras, que competem com a energia obtida por meio da madeira (BRAND, 2007). No entanto, tem-se observado que a busca por alternativas à energia de origem fóssil vem ganhando importância nos últimos tempos (CARBOCLIMA, 2011).

A natureza finita do petróleo, aliada a aspectos econômicos e ambientais, vem exigindo dos Estados medidas e estratégias para a sua substituição, a curto e médio prazo (CARBOCLIMA, 2011). Apesar de ser utilizada em escalas comparativamente menores nos países desenvolvidos, a madeira também possui importante papel como fonte de energia. Nessas condições, seu uso vem se tornando importante como um mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL), ou seja, fonte de energia ambientalmente mais saudável, o que a potencializa como alternativa aos combustíveis fósseis, conduzindo o seu uso à diminuição das emissões dos gases do efeito estufa (BRITO, 2007).

Ainda que o consumo atual de combustíveis fósseis represente na matriz energética das economias globais 85%, o que corresponde a 56% das emissões antrópicas dos gases de efeito estufa (GEE) (IPCC, 2011), as energias renováveis vêm ganhando destaque na agenda das Nações Unidas, em função da sua posição estratégica com elo entre mitigação das emissões dos GEE e desenvolvimento sustentável (WIREC, 2008; HIRSCHL, 2009, apud IPCC, 2011).

O consumo de energia no Brasil em 2010, segundo dados do Balanço Energético Nacional - BEN, foi de 241 milhões de toneladas equivalentes de petróleo (tep). A Tabela 1 apresenta a participação das diferentes fontes utilizadas no país para a produção de energia. As principais fontes utilizadas são o petróleo e a eletricidade. A biomassa, principalmente bagaço de cana, carvão vegetal e madeira, representa cerca de 23% do total das fontes utilizadas no País. Já a Tabela 2 apresenta os principais setores consumidores de energia no país, com destaque para os setores industriais, 36% do consumo total e o de transportes, com 29% do consumo total (BEN, 2011).

Tabela 1 - Matriz energética brasileira, por fonte de consumo.

Fonte	2010 (10³ tep)	(%)
Derivados de Petróleo	100.897	42%
Eletricidade	39.187	16%
Bagaço de Cana	30.991	13%
Lenha	17.052	7%
Gás Natural	17.268	7%
Álcool	13.311	6%
Carvão Mineral	9.900	4%
Carvão Vegetal	4.648	2%
Outros	6.043	3%
Total	240.949	100%

Fonte: Balanço Energético Nacional – BEN, 2011.

A Tabela 2 apresenta os principais setores consumidores de energia no país, com destaque para os setores industriais, 36% do consumo total e o de transportes, com 29% do consumo total.

Tabela 2 - Matriz energética brasileira, por setor de consumo.

Fonte	2010 (10³ tep)	(%)
Indústria	85.678	36%
Transporte	69.430	29%
Residencial	23.669	10%
Setor Energético	25.332	11%
Agropecuário	9.904	4%
Comercial	6.600	3%
Público	3.639	2%

Fonte: Balanço Energético Nacional – BEN, 2011.

Dentro do setor industrial o consumo energético é bem distribuído, sendo o maior consumidor o setor de produção de ferro gusa e aço, com 16,6 milhões de tep anuais (19,4%). Merece destaque também os setores de papel e celulose, 10 milhões de tep (11,7%) e o de cerâmica, 4,5 milhões de tep (5,3%), que consome mais energia que o setor de cimento, 4 milhões de tep (4,8%) (BEN, 2011).

Este estudo mostra que a participação apenas da madeira como fonte de energia no Brasil responde por aproximadamente 22 milhões de tep, ou seja, 9% do total. Se essa quantidade de madeira para energia, no seu equivalente em toneladas de petróleo, for transformada em volume efetivo do produto, os valores seriam da ordem de 156 milhões de m³ anuais. Para a conversão de tep em m³ considerou-se para o poder calorífico líquido da madeira, ou seja, baseado em uma umidade de 30%, o valor de 2.813 kcal/kg. Os valores apresentados não consideram as perdas energéticas do processo de conversão. Considerou-se também uma densidade básica de 500 kg/m³ (BRITO et al, 2008).

Somente o setor industrial consome anualmente 86 milhões de tep em energia, sendo aproximadamente 15 milhões de tep a partir da madeira, ou seja, aproximadamente 106 milhões de m³ de madeira anualmente (BEN, 2011).

O Balanço Energético do Estado de São Paulo (BEESP) (2011) aponta que a biomassa ocupa a segunda posição no consumo final energético com 25% do

total, sendo que o petróleo e seus derivados ocupam a primeira posição com 35,5% e a energia elétrica a terceira posição com 20%.

2.2 Setor de cerâmica

2.2.1 Informações gerais

Os dados sobre o setor de cerâmica no Brasil apresentam divergência entre as principais associações representativas. Conforme mencionado anteriormente, a ANICER (Associação Nacional da Indústria Cerâmica) aponta que o mercado conta com cerca de 5.500 empresas entre cerâmicas e olarias, sendo responsável por mais de 400 mil empregos diretos, 1,25 milhões indiretos e gerando um faturamento anual de R\$ 6 bilhões (4,8% do faturamento da indústria da construção civil), ANICER, 2007.

Por outro lado, a ABC (Associação Brasileira de Cerâmica) contabiliza, especificamente para a cerâmica vermelha, a existência de 11.000 empresas de pequeno porte distribuídas pelo País, empregando cerca de 300 mil pessoas, e gerando um faturamento da ordem de R\$ 2,8 bilhões (ABC, 2008).

O fato da existência de informações divergentes liga-se a um grande problema que permeia toda a cadeia da Construção Civil no Brasil, que seria o índice de informalidade. Um estudo realizado pela UNC (União Nacional da Construção) em agosto de 2006 revelou que, dos R\$ 37,85 bilhões de Valor Adicionado ao PIB nacional, 22,5% vieram da atividade informal (UNC, 2006).

A despeito dessas inconsistências, dada a existência de várias empresas pulverizadas no mercado nacional, a principal convergência em relação às empresas que produzem cerâmica vermelha é o fato de serem, em sua maioria, de micro, pequeno e médio portes que, segundo dados do SEBRAE (2008), utilizam processos produtivos tradicionais.

Com relação à sua localização, geralmente, pesam para essa decisão dois fatores principais, a proximidade das jazidas, em função do volume de matéria-prima processada e da necessidade de transporte desse grande volume e peso, e a proximidade dos mercados consumidores. O raio médio de ação para envio dos produtos acabados gira em torno de 250 km, a partir do qual, em situações normais, o transporte fica inviável. Para as telhas, de forma geral, o alcance pode ser maior, podendo o raio chegar aos 500 km em função deste produto possuir maior valor

agregado. Pode haver casos, inclusive, do raio de transporte chegar até 700 km no caso de telhas especiais (BUSTAMANTE; BRESSIANI, 2000).

O setor industrial da cerâmica é bastante diversificado e pode ser dividido nos seguintes segmentos: cerâmica vermelha, materiais de revestimento, refratários, louça sanitária, isoladores elétricos de porcelana, louça de mesa, cerâmica artística, filtros cerâmicos, cerâmica técnica e isolantes térmicos (SEBRAE, 2008).

A cerâmica vermelha abrange um grupo de materiais cerâmicos constituído por tijolos, telhas, tubos, lajotas, vasos ornamentais, dentre outros, geralmente fabricados próximos dos centros consumidores, utilizando matérias-primas locais. As matérias-primas são argilas e siltes argilosos, com alto valor de impurezas, entre as quais se destacam minerais de ferro, responsáveis pela coloração vermelha típica dos produtos (BACCELLI-JÚNIOR, 2010).

O setor de cerâmicas vermelhas no Brasil é composto de aproximadamente 5.500 empresas divididas em cerâmicas e olarias, produzindo principalmente tijolos (64%) e telhas (36%), responsáveis por 1% do PIB nacional (ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA CERÂMICA - ANICER, 2008).

Como os produtos são comercializados geralmente nas proximidades das empresas, os Estados com maior população e conseqüente demanda são também os maiores produtores. Neste contexto, o Estado de São Paulo é o maior produtor nacional, conta com aproximadamente 600 empresas e sua produção equivale a 21% do total nacional. A Figura 1 apresenta a distribuição dos nove principais pólos de produção de cerâmica vermelha no Estado de São Paulo, sendo: Itu-Campinas (1), Santa Gertrudes - Cordeirópolis (2), Tatuí - Sorocaba (3), Tambaú - Vargem Grande Sul (4), Mogi Guaçu - Itapira (5), Panorama - Paulicéia (6), José Bonifácio - Avaiandava (7), Barra Bonita - Bariri (8), Ourinhos - Palmital (9) (SEBRAE, 2008).



Figura 1 - Principais pólos de cerâmica vermelha no Estado de São Paulo.
 Fonte: Modificado de Google Map Maker, 2011.

A grande maioria das unidades produtivas desse segmento é de pequeno e médio porte, utilizando, em geral, tecnologias desenvolvidas há mais de 30 anos. Uma quantidade relativamente pequena de empresas, porém crescente, utiliza em seus processos produtivos tecnologias mais atuais, como sistemas semi-automáticos de carga e descarga e fornos túneis (BRASIL, 2007).

De acordo com dados históricos do Ministério de Minas e Energia (MME), em 2010, a lenha foi responsável pela produção de 51% do total da energia consumida pelo setor de cerâmicas no Brasil, ou seja, 2,27 milhões de tep, o que corresponderia a aproximadamente 16,5 milhões de m³ de madeira anualmente (BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL - BEN, 2011).

De acordo com o Balanço Energético do Estado de São Paulo - BEESP (2011), o setor de cerâmica consumiu cerca de 1 milhão de tep em energia em 2010. Se todo esse consumo fosse produzido a partir da madeira, isso equivaleria a aproximadamente 7 milhões de m³ anualmente. O estudo aponta que a lenha consumida para fins energéticos no setor de cerâmica corresponde a um volume aproximado de 1 milhão de m³ anualmente. Esse número representa 13% do total de energia consumida pelo setor.

Essa diferença entre o consumo real e o consumo potencial da lenha para geração de energia no setor de cerâmicas, aliada às vantagens da sua utilização, a elegem como importante fonte alternativa de energia para substituição às outras fontes energéticas, sobretudo fósseis, utilizadas pelo setor: gás natural (48%); eletricidade (24,5%); óleo diesel (8%) e GLP (7%), (BEESP, 2011). Tentando dimensionar o tamanho desse potencial, vale ressaltar que o volume de madeira consumido por todas as fábricas de painéis a base de madeira do Brasil não chega a 10 milhões de m³ anualmente (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS - ABRAF, 2011), ou seja, o potencial de uso de madeira para fins energéticos no setor de cerâmica do Estado de São Paulo corresponde a 70% do consumo de madeira de todo o setor de painéis de madeira no Brasil.

Outro fator a ser considerado é que o uso da madeira para fins energéticos pode significar a diminuição da dependência energética externa além de uma maior segurança quanto ao suprimento da demanda, algo que muitos dos combustíveis hoje empregados não proporcionam. Além do mais, graças ao seu alto potencial renovável e produtivo, especialmente no caso brasileiro, pode expressar uma matriz energética ambientalmente mais saudável e socialmente mais justa, pois é uma das fontes de energia que possibilitam uma das maiores taxas de geração de emprego por recurso monetário investido (BRITO, 2007).

De acordo com Alencar (2004), podem ser listadas outras vantagens do uso da madeira como fonte de energia, comparando-se com as demais fontes não renováveis:

Aspectos econômicos: preço não dependente do mercado externo e menor vulnerabilidade às mudanças macro-econômicas e favorece a alocação de recursos diretamente nos municípios onde a madeira é produzida.

Aspectos sociais: emprego da mão-de-obra local de forma intensiva, geração de empregos que demandam menor qualificação e apresenta maior aproximação com a agricultura e a agroindústria.

Aspectos ambientais: é uma fonte renovável, retira CO₂ da atmosfera, contribuindo com a diminuição do efeito estufa, podendo agregar uma imagem ecologicamente positiva para a empresa que a consome.

Aspectos estratégicos: garantia de auto-suficiência, segurança quanto ao suprimento futuro, capacidade de gerar a própria energia e poderá gerar receita adicional com os créditos de carbono.

2.2.2 Processo de produção de cerâmica vermelha

Os produtos da cerâmica vermelha caracterizam-se pela cor vermelha de seus produtos, representados por tijolos, blocos, telhas, tubos, lajes para forro, lajotas, vasos ornamentais, agregados leve de argila expandida e outros. (SEBRAE, 2008). No caso específico desse estudo será dada atenção a três dos principais itens acima citados, quais sejam: tijolos, telhas e tubos.

No que se refere à matéria-prima, o setor de cerâmica vermelha utiliza basicamente argila comum, em que a massa é tipo monocomponente - só argila -, e pode ser denominada de simples ou natural (SEBRAE, 2008).

A massa é obtida, em geral, com base na experiência acumulada, visando uma composição ideal de plasticidade e fusibilidade, facilitando o manuseio e propiciando resistência mecânica na queima (MOTTA, 2000).

O processo produtivo começa com a extração da matéria-prima (argila) e o seu transporte para estocagem em montes nos pátios descobertos localizados no interior das cerâmicas. Esse material é então separado, formando pequenos montes de argilas que são misturados e homogeneizados por equipamentos como retro escavadeiras ou pás carregadeiras. A argila é então transportada para um caixão alimentador dosador ou diretamente a correias transportadoras para dosagem, de acordo com as suas características cerâmicas, passando em seguida pelo destorroador, para que sejam quebrados os torrões maiores de argila e separadas as pedras existentes por meio de centrifugação. O misturador, que realiza movimentos circulares, por sua vez, homogeneiza o material, que segue para o laminador e, depois de laminado, é transportado para a maromba, onde é então empurrado contra um molde, sendo depois cortado no tamanho desejado (BACELLI JÚNIOR, 2010).

Nesta fase do processo, o teor de umidade pode ser muito variável, de 18% a 30%. Caso ele seja muito elevado, alguns equipamentos perdem eficiência, como é o caso do desintegrador, que não desintegrará os blocos de argila, mas somente

os amassará. A mistura desagregada é transportada para o misturador, onde recebe, quando necessário, a adição de água, sendo então novamente homogeneizada.

Após a matéria-prima passar pelo misturador ela se dirige para o laminador, que tem como finalidade completar a mistura, e é responsável por um adensamento, eliminando bolhas de ar ou aglomerados remanescentes, antes de ser levada às extrusoras. Em alguns casos as extrusoras podem ter um laminador acoplado na entrada do equipamento (VILLAR, 1988; MAFRA, 1999; SEBRAE/RJ, 2000).

Depois de cumprida a etapa de extração e preparação das matérias-primas, pode-se dizer que a mistura de argila está pronta para seu emprego na produção. A conformação mecânica consiste na obtenção de tipos de produtos nas dimensões, formas e espécies mais variadas, a partir de uma massa plástica de argila. Existem vários sistemas de conformação, que dependem essencialmente do tipo de produto que se pretende obter e das características de plasticidade da matéria-prima que se tem à disposição. (CARVALHO, 2001)

A Figura 2 apresenta de forma esquemática a seqüência para produção da cerâmica vermelha.

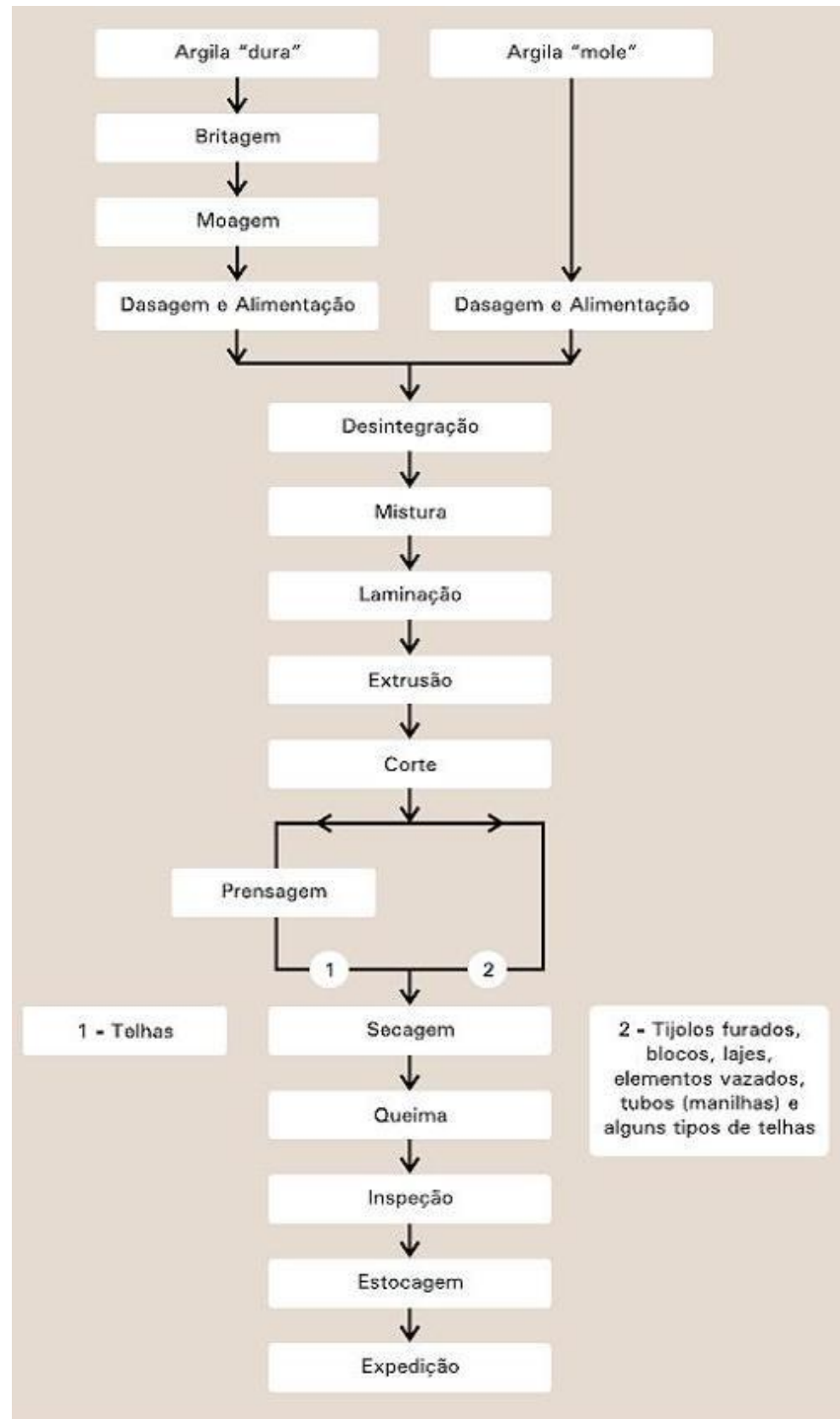


Figura 2 – Fluxograma do Processo de produção de cerâmica vermelha.
 Fonte: Modificado de Associação Brasileira de Cerâmicas – ABC, 2011.

O processo de conformação mecânica é chamado de extrusão, no qual a extrusora, também conhecida como maromba, é responsável por dar o formato ao produto. Na extrusora a massa é impulsionada, por meio de um propulsor, comumente um parafuso de rosca sem fim, através de uma chapa de aço perfurada,

lançando-a dentro de uma câmara de vácuo. O ar é retirado pela câmara de vácuo e o material é extraído por meio de outro parafuso de rosca sem fim que a impele, através de uma matriz de aço (boquilha), conformando a massa no formato desejado. Após a massa de argila passar pelo molde que se encontra fixado na boquilha da maromba ocorre o corte, que pode ser manual ou mecanizado, produzindo as peças nas medidas determinadas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), sejam elas tijolos ou telhas.

As peças antes de serem cortadas devem ser carimbadas, conforme exigência das normas ABNT para telhas e tijolos e da Portaria 152 do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia – INMETRO (2009) para blocos cerâmicos. É aplicado logo após a saída da maromba, quando é colocada uma peça cilíndrica na extremidade de um suporte pressionada sobre o produto, antes do corte. Nessa peça estão gravadas as informações que precisam ficar impressas no produto cerâmico, em alto ou em baixo relevo. No caso das telhas estas devem possuir o nome da cerâmica e o município onde são fabricadas. Para efeito de divulgação, as empresas colocam também o número de telefone para contato. Já os blocos cerâmicos, nos quais se incluem tijolos e lajotas, devem possuir o nome da cerâmica, as dimensões da peça e o município onde são produzidas (BACELLI-JÚNIOR, 2010).

2.2.3 Processo de secagem de produtos cerâmicos

O processo de secagem é uma operação importante na fabricação dos produtos cerâmicos. Enquanto os ditames da economia requerem a secagem mais rápida possível, uma programação de secagem demasiadamente rápida causa retração diferencial, o que pode provocar a formação de trincas nas peças (NORTON, 1973).

De acordo com Elias (1995) a secagem começa logo depois da conformação e do corte das peças permitindo a eliminação da água utilizada na fabricação, pois a água está distribuída quase que homoganeamente entre as partículas de argila. A água precisa ser retirada homoganeamente, já que sua saída faz com que as partículas se aproximem, diminuindo o tamanho da peça, produzindo retração linear em todas as suas dimensões. Uma grande retração necessita de

secagem muito lenta para evitar trincas e se obter as dimensões desejadas. No caso de não haver uma eliminação lenta e homogênea da água, poderão ocorrer trincas e até mesmo a quebra da peça. A umidade de extrusão dos produtos cerâmicos normalmente oscila entre 20 e 30% e, após a secagem, esta umidade residual deve estar abaixo de 5%. Sendo que quanto mais espessa a peça, mais demorada e difícil é o seu processo de secagem. A velocidade de evaporação da água em uma superfície livre depende de vários fatores, sendo os principais: temperatura do ar, velocidade do ar, teor de água no ar (umidade) e temperatura da água.

Segundo o autor, a secagem pode ser natural ou forçada, artificial ou mista. A secagem natural acontece pela exposição das peças ao ar livre, e é mais rápida. Ela sofre influência das condições atmosféricas: umidade do ar, velocidade e direção do vento, calor, etc. e pode ser de 2 tipos: exposição direta ao sol em grandes pátios das empresas, onde a secagem é muito rápida, ou em galpões, onde as peças são arrumadas em pilhas ou em prateleiras, sendo neste caso mais lenta.

Já secagem forçada pode ocorrer em secadores intermitentes ou contínuos, sendo necessário, em ambos os casos, insuflar ar quente no interior do secador. Esse ar quente pode vir da coleta da chaminé de um forno ou da queima de combustível, exclusiva para esta finalidade. Os dois secadores possuem câmaras fechadas e o que difere um do outro é que nos secadores intermitentes as peças são colocadas de forma a secarem todas ao mesmo tempo. Já no secador contínuo, vagões ou carrinhos carregados de peças atravessam continuamente um túnel, sendo proporcionada a secagem das peças ao longo desse percurso.

Há ainda um tipo de secador artificial, conhecido como secador espanhol, em que o ar quente é desviado da chaminé e forçado a sair em respiradores no piso de um galpão, sobre o qual estão dispostas as peças, organizadas em pilhas. Ventiladores colocados acima das peças forçam o ar quente para baixo, deixando-o mais tempo em contato com as peças. O período de secagem artificial depende das características da matéria-prima, do formato das peças e do tipo do secador, podendo haver uma variação entre 12 e 40 horas. A temperatura para o processo de secagem varia entre 80 e 100°C (ELIAS, 1995).

2.2.4 Processo de queima de produtos cerâmicos

Após a secagem, as peças são transportadas para o forno, onde são submetidas a um tratamento térmico de queima em altas temperaturas, operação fundamental, que através de transformações físico-químicas, altera as propriedades mecânicas e confere as características inerentes a todo produto cerâmico como resistência, cor e dimensões (IPT, 1980; VILLAR, 1988; SECTME, 1990; CAVALIERE et al, 1997; SUDENE; ITEP, 1980; MAFRA, 1999; TAPIA et al., 2000).

De acordo com os autores, a temperatura de queima é da ordem de 750 a 900°C para tijolos, de 900 a 950°C para telhas e de 950 a 1200°C para tubos cerâmicos. Esta etapa é conduzida em equipamentos térmicos, denominados fornos, cuja concepção térmica e os combustíveis empregados possuem grande variedade.

Esta etapa pode ser realizada em diferentes tipos de fornos, sendo os mais utilizados: Fornos de chama direta, tipo caipira (ou rural), garrafão e caieira; Fornos de chama reversível tipo abóbada, Catarina, Corujinha e Paulista; Fornos contínuos do tipo Hoffmann; Fornos contínuos do tipo túnel e Fornos do tipo plataforma (intermitentes), tipo vagão ou gaveta. Os diferentes tipos apresentam diferentes consumos específicos de lenha para a queima, mas de forma geral, esse consumo varia em torno de 0,5 a 1,2 m³ de lenha por tonelada de produto queimado. (BACELLI JÚNIOR, 2010).

Após a queima e resfriamento, os produtos desenformados estão aptos para comercialização e uso (IPT, 1980; VILLAR, 1988; SECTME, 1990; CAVALIERE et al, 1997; SUDENE; ITEP, 1980; MAFRA, 1999; TAPIA et al., 2000).

2.3 Parâmetros de qualidade da biomassa

O termo biomassa se refere, em sentido amplo, a qualquer tipo de matéria orgânica considerada renovável, de origem vegetal, animal ou procedente da transformação natural ou artificial da mesma. Esses materiais têm em comum a origem direta ou indireta do processo de fotossíntese, apresentando-se de maneira periódica e não limitada no tempo, ou seja, de forma renovável (VIANNA et al., 2000).

Do ponto de vista energético, biomassa é toda matéria orgânica, de origem animal ou vegetal, que pode ser utilizada na produção de energia. A energia da biomassa é proveniente da luz solar convertida em energia química, através da fotossíntese, base dos processos biológicos de todos os seres vivos. Esta energia pode ser convertida em eletricidade, combustível ou calor (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL, 2002).

Assim, a biomassa tem diversas origens, podendo ser obtida de vegetais lenhosos e não-lenhosos, de resíduos orgânicos (agrícolas, florestais, urbanos e industriais) e de biofluidos, como óleos vegetais. Estas diversas fontes podem ser abrangidas no aproveitamento energético da biomassa (CORTEZ et al., 2008).

Somente a alteração de uma determinada fonte não garante aumento de ganhos energéticos no processo. O baixo poder calorífico e massa específica, altos teores de umidade, custos de exploração e transporte elevados, necessidade de preparação e dificuldade de manuseio, devido à variação granulométrica, são algumas das desvantagens da sua utilização como fonte de energia. Essas variáveis precisam ser controladas para aumentar a eficiência de utilização e competitividade dessa fonte. Portanto, o desenvolvimento de estudos na área de qualificação da madeira para o uso energético tem sido um dos pontos importantes de pesquisa no Brasil e no mundo (ANTUNES; ALMEIDA, 2003).

O setor de cerâmica, objeto central do presente estudo, utiliza a madeira e resíduos madeireiros como principal biomassa para a geração de energia térmica. (BRITO et al., 2008). Os autores definem a madeira como um material essencialmente orgânico, composto, de maneira geral de, por 50% de carbono, 6% de hidrogênio e 44% de oxigênio. Além desses componentes orgânicos, a madeira contém uma pequena fração de componentes inorgânicos, que permanecem como resíduos após a sua queima, sendo denominados de “cinzas”, cujo teor na madeira não ultrapassa 2% (BRITO; BARRICHELO, 1979; BRITO, 1994).

A combinação desses elementos químicos resulta em quatro compostos orgânicos básicos presentes na madeira: celulose, hemiceluloses, lignina e extrativos. Por serem todos compostos orgânicos, todos eles contribuem de forma decisiva na liberação de energia, quando a madeira é usada com essa finalidade, sendo que existe uma influência positiva a presença de maiores teores de lignina e

extrativos, por serem estes os compostos que concentram maior quantidade de energia entre aqueles que constituem a madeira (BRITO et al., 2008).

Os autores destacam ainda que apesar da influência da composição química da madeira, os parâmetros geralmente avaliados na questão do uso da madeira para fins energéticos são o poder calorífico, a umidade e a densidade.

Em se tratando especificamente de biomassa produzida a partir da madeira, Brito; Ferreira; Barrichelo (1978) indicaram o teor de umidade, a densidade, o poder calorífico e a análise imediata como as propriedades mais importantes da madeira para sua utilização como combustível.

Esses estudos sempre visam o aumento do ganho energético do material nos processos de conversão em energia. Porém, alguns pontos relativos à qualificação energética, ainda são pouco estudados e desenvolvidos.

2.3.1 Teor de umidade

Uma das características mais importantes em um combustível, especialmente no caso da madeira é o seu teor de umidade. Talvez seja esse o fator que maior influência exerce sobre a queima de materiais combustíveis, por duas razões básicas. A primeira é que ele varia dentro de faixa ampla de valores em função de espécies, clima, armazenamento etc., tornando o controle do processo de combustão mais difícil. A segunda razão é que a água tem um poder calorífico negativo, isso é, necessita de calor para evaporá-la (BRITO, 1979).

O conteúdo de umidade máximo para que uma madeira possa ser queimada no forno está em torno de 65% a 70% em base úmida. Por existir essa umidade, é inevitável que ocorra uma perda de calor nos gases de combustão em forma de vapor de água, já que a umidade da madeira evapora e absorve energia em combustão. A quantidade máxima de água que a madeira pode conter para entrar em combustão tem sido calculada em aproximadamente 65% na base úmida (o resto corresponde ao material sólido) (QUIRINO et al., 2004). Dessa forma, madeira muito úmida, com teor de umidade acima desse limite, necessita de calor de origem externa para secar e entrar em combustão (CUNHA et al. (1989), JARA (1989)).

Segundo Cunha et al. (1989), quanto maior o conteúdo de umidade da madeira, menor é o seu poder de combustão, devido ao processo de evaporação da umidade, o qual absorve energia em combustão. Na média, uma madeira recém cortada apresenta teor de umidade variando entre 45 e 50%. Já uma madeira cortada, seca ao ar por um período de seis meses em local coberto pode apresentar teor de umidade variando entre 15 e 25% (BRITO; BARRICHELO, 1979).

Os materiais orgânicos, como a madeira, sofrem mudanças durante um período de estocagem, sendo que a principal causa dessas alterações se deve ao teor de umidade. Um material seco normalmente não sofre alterações substanciais. Em contrapartida materiais que sofrem aumento do seu teor de umidade sofrerão alterações principalmente com relação às suas propriedades energéticas, que tendem a diminuir de acordo com esse aumento (BRAND, 2007).

Com relação ao teor de umidade Brand (2007), constatou que, tanto para cavacos como para resíduos florestais, em maiores dimensões, de *Picea abies* e *Pinus silvestris*, na proporção de 30% e 70% na mistura, respectivamente, a secagem ocorre em maior proporção nos primeiros meses de estocagem. Porém, se o tempo de estocagem se estende, o conteúdo de umidade das pilhas aumenta. Isto acontece, além de outras coisas, pela quebra da estrutura lignocelulósica e conseqüente aumento da água. Além disso, Nurmi (1995) salienta que na biomassa estocada, mesmo tendo havido secagem durante o verão, ocorre re-umidecimento se a estocagem se estender até o outono e inverno.

Earl (1975) apud Cunha et al. (1989), também relata que é importante que o teor de umidade da madeira a ser usada como combustível seja reduzido, diminuindo assim o manejo e o custo de transporte, agregando valor ao combustível.

Segundo Arola (1976) apud Brito; Barrichelo (1982) são necessários 556 kcal de calor para a evaporação de 1 kg de água contida na madeira, calor esse que deve ser deduzido do seu poder calorífico da madeira. Esse fato assume elevada relevância pelo fato de que no processo de combustão da madeira, a primeira etapa consiste na evaporação e eliminação da água. Se o teor de umidade é elevado, o processo requer um longo tempo e uma quantidade significativa de energia geralmente é gasta.

2.3.2 Granulometria

Além da umidade, a biomassa florestal também pode ser extremamente variável em relação às características físicas, tais como tamanho e forma das partículas e conteúdo de contaminantes não combustíveis, que influenciam na conversão energética (PINCELLI, 2011).

Para qualquer que seja a fonte de matéria-prima, o material disponível terá formas e tamanhos variados. Quando oriundos de resíduos de plantios florestais estarão na forma de ponteiros de árvores, toras, galhos e tocos. Quando provenientes de resíduos industriais estarão na forma de cavacos, serragem, costaneiras, refilos, destopos e demais materiais classificados como de pós uso, como *pallets*, carretéis de madeira, materiais de construção civil e móveis (BRAND, 2007).

Os queimadores são ajustados para operar com um determinado tempo de retenção para cada tipo de combustível e, se as características do material não forem uniformes, a eficiência de conversão do sistema diminui (POTTIE; GUIMIER, 1985).

O tamanho e a forma das partículas do combustível afetam a taxa de conversão energética durante a queima de duas maneiras. Primeiro, partículas com tamanho e forma diferentes possuem diferentes superfícies de área por unidade de volume ou peso de combustível. Uma vez que as reações químicas ocorrem na superfície das partículas, a desuniformidade afeta a taxa de queima do material. Segundo, o tamanho e a forma das partículas do combustível determinam o fator de volume sólido, ou seja, a quantidade de espaços vazios por unidade de volume ou peso do material. Assim, a quantidade de oxigênio presente nesses espaços vazios também afeta a taxa de queima do combustível (POTTIE; GUIMIER, 1985).

Além do tipo e da forma do material, que muito interfere na qualidade da queima, no uso direto da madeira em processo de combustão, aspectos importantes devem ser considerados, principalmente com relação às propriedades físicas e químicas da madeira, associadas às suas propriedades combustíveis. Destaque-se além do teor de umidade e granulometria a densidade, o poder calorífico e a sua composição química elementar (BRITO; BARRICHELO, 1979).

2.3.3 Densidade básica e densidade a granel

A densidade básica é uma propriedade que expressa a quantidade de substância madeira por unidade de volume, sendo definida pela relação entre o peso da madeira absolutamente seca e o seu volume saturado (umidade acima do ponto de saturação das fibras), expressa em g/cm^3 . É uma propriedade de fácil determinação e um excelente índice para a análise da viabilidade do emprego da madeira em diversas finalidades (PANSHIN; ZEEUW, 1970).

Foelkel et al. (1992) ressalta que a densidade básica é um parâmetro de aferição da qualidade, e possui ampla aceitação pelo fato de ser correlacionada com diversas características e propriedades de uso do produto final e pela simplicidade de sua determinação. Os autores salientam ainda que embora a densidade básica tem-se constituído como um índice universal para avaliar a qualidade da madeira, ela não deve ser considerada absoluta, pois a densidade básica é um fator resultante, é a consequência, e não a causa da distribuição, dos tipos e da composição dos elementos anatômicos que compõe a madeira.

Pensando-se na madeira para fins energéticos, a densidade básica pode ser considerada uma importante variável a ser analisada, uma vez que possui estreita relação com o seu valor combustível (BRITO; BARRICHELO, 1979).

Segundo Cunha et al. (1989), não há correlação entre densidade básica e o poder calorífico (PC). Entretanto, em relação ao volume de madeira a ser queimada, a densidade está positivamente relacionada com o conteúdo calórico da madeira, estimulando o interesse de madeiras pesadas para a queima.

A densidade a granel, ou massa específica aparente de uma determinada biomassa, é definida como a massa total de biomassa armazenada em um determinado volume, dividido pelo valor desse volume, ou seja, é a massa do montante de biomassa colocada aleatoriamente até encher o volume do recipiente. Formalmente, a massa específica a granel é determinada através da utilização da norma NBR 6922 Ensaio Físico para Determinação da Massa Específica, em que se quantifica a massa (medindo o peso) correspondente a um volume de $0,216 \text{ m}^3$ de biomassa, ou seja, a massa específica aparente será sempre menor que a massa específica, pois os fragmentos amontoados deixam espaços vazios entre si, reduzindo a massa contida no volume. De maneira geral, a massa específica aparente de resíduos de madeira é em torno de $\frac{1}{4}$ da massa específica da madeira,

aumentando esse valor com a diminuição da granulométrica do resíduo como no caso de cavacos de madeira (RENDEIRO et al. 2008).

A densidade dos resíduos da colheita florestal varia de 130 a 180 kg/m³, para conteúdos de umidade entre 30 e 50% (LEINONEN, 2004). Por isso, um aspecto de crucial importância na colheita da biomassa florestal para geração de energia diz respeito à compactação deste material, tendo em vista solucionar problemas de manuseio, de estoque e de transporte. Uma vez compactado o material que onera os custos de transporte, seu aproveitamento poderá ser economicamente viabilizado (MARTÍ, 2006).

2.3.4 Poder Calorífico

Uma das propriedades mais importantes a ser analisada quanto à combustividade é o seu poder calorífico. Essa propriedade é normalmente obtida pela queima de uma quantidade conhecida de combustível, medindo-se o calor libertado. No caso da madeira podem-se encontrar valores que variam de 3.000 kcal/kg até 5.400 kcal/kg (BRITO; BARRICHELO, 1982).

A qualidade da biomassa está diretamente relacionada com a quantidade de energia gerada na combustão desta, também conhecido como poder calorífico (VARANDA; CARASCHI; ALMEIDA FILHO, 2010).

Conceitualmente o poder calorífico é definido como a quantidade de energia na forma de calor liberada pela combustão de uma unidade de massa da madeira (JARA, 1989). No Sistema Internacional, o poder calorífico é expresso em joules por grama ou quilojoules por quilo, mas pode ser expresso em calorias por grama ou quilocalorias por quilograma (BRIANE; DOAT, 1985).

O poder calorífico é dito superior quando a combustão se efetua a volume constante e a água formada durante a combustão é condensada. O poder calorífico inferior é aquele cuja a água formada durante a combustão não é condensada (BRIANE; DOAT, 1985).

Uma forma de obtenção do PCI, segundo Brito (1993), é através da fórmula: $PCI = PCS - 600 (9H/100)$, que exclui a interferência do vapor de água produzido na combustão do hidrogênio H presente no material em combinação com o oxigênio (CUNHA et al., 1989).

A maioria dos sistemas de utilização da biomassa para a produção de energia não secam o material abaixo de 10% de umidade, portanto o poder calorífico que melhor se aproxima da realidade é o PCU, que é derivado do PCI, levando-se em consideração um dado teor de umidade (u), e é calculado através da fórmula: $PCU=PCI(1-u)-600u$ (VALE & BRASIL, 1997).

Quirino et al. (2004) realizou um estudo onde reuniu dados do poder calorífico de 258 espécies florestais e chegou a conclusão que o poder calorífico superior das madeiras variou de 4.685 a 4.736 kcal, ou seja, um poder calorífico médio de 4.710 kcal/kg. Neste estudo, o autor afirmou ainda que essa propriedade varia relativamente pouco entre as espécies florestais.

2.3.5 Composição química elementar

Com relação à composição química elementar da madeira, existe uma certa uniformidade entre as diferentes espécies, podendo-se generalizar a sua composição principal da seguinte forma: Carbono (50,2%), Hidrogênio (6,1%), Nitrogênio (0,2%), Oxigênio (43,4%) e Cinzas (0,2%) (BRITO; BARRICHELO, 1979).

Cunha et al. (1989), considera que a estrutura física da madeira pode não ser o parâmetro mais importante na determinação do seu valor energético, mas que a composição química é de fundamental importância.

Jara (1989) menciona que o poder calorífico superior da madeira, além da umidade, está muito influenciado pela constituição química da madeira, principalmente a lignina e extrativos (resinas, óleos-resinas, matérias graxas, óleos, etc). Cunha et al. (1989) afirma que o poder calorífico é mais alto quanto maior o teor de lignina e extrativos, uma vez que estes possuem menores quantidades de oxigênio do que os polissacarídeos presentes na celulose e nas hemiceluloses.

A combustão da biomassa resulta em cinzas, constituídas em grande parte por elementos inorgânicos. A composição química e a quantidade resultante de cinzas variam conforme a espécie, o clima, o solo e o método de carbonização (CAMPBELL, 1990). Entretanto, as impurezas contidas na biomassa elevam o conteúdo de cinzas resultante da combustão, sendo o teor de cinzas na madeira, sem casca, a de cerca de 0,5% e este aumenta para 1% quando a casca é queimada. Em cavacos de árvores com casca e galhos, este teor aumenta

significativamente para cerca de 5-10% ou mais, dependendo da quantidade de impurezas no material (KOFMAN, 2006).

Esses valores variam muito em função da espécie de madeira e da posição na árvore onde a amostra foi retirada, podendo variar também entre árvores do mesmo local de crescimento. Além disso, durante a colheita da biomassa, entre a floresta e a planta de geração de energia, o material pode ser contaminado através da adição de pedras e areia (THÖRNQVIST, 1985 apud BRAND, 2007). Os valores apresentados por Brito; Barrichelo (1982) para espécies do gênero *Eucalyptus* variaram entre 0,41 a 0,53 % em árvores com quatro anos de idade.

2.3.6. Queima da biomassa e a emissão de poluentes

Apesar das vantagens apresentadas, a utilização da biomassa em larga escala para produção de energia requer alguns cuidados, de modo que se possa evitar impactos ambientais que podem ocorrer em função do processo de queima. O respeito à diversidade e a preocupação ambiental deve reger todo e qualquer projeto de utilização de biomassa (SOARES, 1995).

Esse mesmo autor argumenta que a poluição derivada da queima da biomassa pode ser considerada pequena, se comparada com a poluição industrial ou aquela gerada pela queima de combustíveis em veículos. No entanto é muito importante conhecer o comportamento desses materiais durante a sua combustão, pois, dependendo da sua composição, a queima poderá liberar alguns compostos tóxicos, como monóxido de carbono, óxidos de enxofre e nitrogênio.

Os efeitos no ambiente provenientes de qualquer equipamento usado para combustão dependem de diversos fatores, entre eles a natureza, a forma e a concentração das substâncias liberadas (GRIPP, 1998).

Existe legislação específica para fiscalização de sistemas de queima de biomassa, como por exemplo, a Norma CETESB E-15011. A Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB), órgão fiscalizador da SEMA – Secretaria de Estado do Meio Ambiente de São Paulo, tem seus critérios de fiscalização baseados nessa norma, e avalia, dentre outros parâmetros, a temperatura, análise dos gases de saída da chaminé e água residual proveniente do lavador de gases (GONÇALVES, 2006).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Material

3.1.1 Caracterização da área de estudo

As cerâmicas do Estado de São Paulo estão agrupadas principalmente em nove pólos principais de produção, Itu, Tatuí, Santa Gertrudes, Mogi Guaçu, Tambaú, Vargem Grande do Sul, Barra Bonita, Jose Bonifácio, Panorama, Paulicéa e Palmital (SEBRAE, 2008).

Para o diagnóstico do setor de cerâmica no Estado de São Paulo foi realizado um levantamento junto às empresas que o compõem, utilizando a base de dados das organizações representativas do setor, tais como associações e sindicatos. A primeira instituição consultada foi o Sindicato da Indústria da Cerâmica para Construção do Estado de São Paulo (SINDICERCON-SP), do qual participam as duas principais associações ceramistas do Estado, a Associação das Cerâmicas de Tatuí e Região (ACERTAR) e a Associação das Cerâmicas Vermelhas de Itu e Região (ACERVIR). Ambas concentram 27 e 57 cerâmicas associadas respectivamente, ou seja, aproximadamente 15% de todo o Estado (dados obtidos via comunicação pessoal com as Associações).

Essas duas regiões do Estado foram priorizadas pela proximidade com Piracicaba, como forma de facilitação para as coletas e transporte das amostras ao Laboratório de Química, Celulose e Energia (LQCE) do Departamento de Ciências Florestais da ESALQ/USP.

Como citado anteriormente, a ANICER estima que existem no Brasil cerca de 5.500 empresas, entre cerâmicas e olarias, fato contestado pela ABC, que contabiliza especificamente para a cerâmica vermelha, a existência de 11.000 empresas de pequeno porte distribuídas pelo país.

Visando um melhor entendimento do perfil de uma empresa cerâmica, será utilizada a classificação elaborada por Santos (2003) a partir do consumo de argila e do volume de produção:

- Micro empresa: consome até 150 m³/mês de argila e produz até 100 mil peças;

- Pequena empresa: consome entre 150 e 700 m³/mês de argila e produz entre 100 e 300 mil peças;
- Média: consome entre 700 e 1.000 m³/mês de argila e produz entre 300 e 800 mil peças;
- Grande: consome mais de 1.000 m³/mês de argila e produz acima de 800 mil peças.

Para a determinação do universo amostral do trabalho, foram definidos alguns parâmetros tais como porte dos empreendimentos que participariam da pesquisa, escala de produção e tipo de combustível utilizado pelas empresas.

Quanto ao porte e escala de produção, a amostragem se concentrou em empreendimentos de médio e grande porte, com produção mensal que variaram entre 300 e 800 mil peças, categoria de médias empresas, e acima de 800 mil peças, categoria de grandes empresas. Este é o universo mais representativo do setor e que concentra o maior número de empresas de cerâmicas vermelhas do Estado (SEBRAE, 2008).

Outro parâmetro considerado para a seleção das cerâmicas foi o tipo comercial de combustível utilizado pelas cerâmicas para produção de energia e aquecimento dos fornos. Foram priorizadas as que não utilizavam lenha (madeira na forma de toras ou toretes) como fonte de energia térmica, mas sim cavacos de serrarias, serragem, resíduos de indústrias moveleiras, resíduos madeireiros de construção civil e cavacos provenientes do processamento de demais resíduos madeireiros.

Conforme levantamento junto às Associações de cerâmicas, esses cavacos vem sendo utilizado atualmente por cerca de 80% das cerâmicas de porte médio no Estado de São Paulo, o que representa de forma bastante significativa à realidade energética do setor.

Ainda segundo informações obtidas junto às associações de cerâmicas consultadas, a opção por esse tipo de biomassa se deve a quatro principais razões: a) maior disponibilidade desse material para aquisição no mercado; b) por envolver uma questão ambiental, uma vez que se trata de um resíduo industrial ou de um material reciclado; c) por garantir uma maior homogeneidade na combustão, quando comparado com a lenha, em função do menor tamanho das partículas que o compõe e d) pelo fato de que as indústrias de cerâmicas vermelhas vêm automatizando a

alimentação das fornalhas. Para tanto vêm substituindo a lenha, tradicionalmente usada e carregada manualmente, por cavacos com a carga das fornalhas sendo feita por meio de esteiras rolantes, conforme apresenta a Figura 3.



Figura 3 - Sistema de alimentação das fornalhas por meio de esteiras rolantes.
Fonte: Lopes, 2012.

Foram contatadas praticamente todas as cerâmicas pertencentes às duas associações anteriormente mencionadas, além de outras não pertencentes a elas, mas que se localizavam nas regiões priorizadas para o estudo e que não utilizavam lenha para queima e geração de calor.

No período de 01 a 22 de julho de 2011 foram realizadas visitas as empresas para uma entrevista inicial e solicitação de manifestações de interesse em participar da pesquisa. Do total de empresas visitadas 12 foram definidas como parceiras, pois compunham o perfil pretendido. Estas encontram-se distribuídas nos municípios de: Monte Mor, Elias Fausto, Piracicaba, Saltinho e Tatuí. A Figura 4 apresenta a localização destes municípios no Estado de São Paulo.

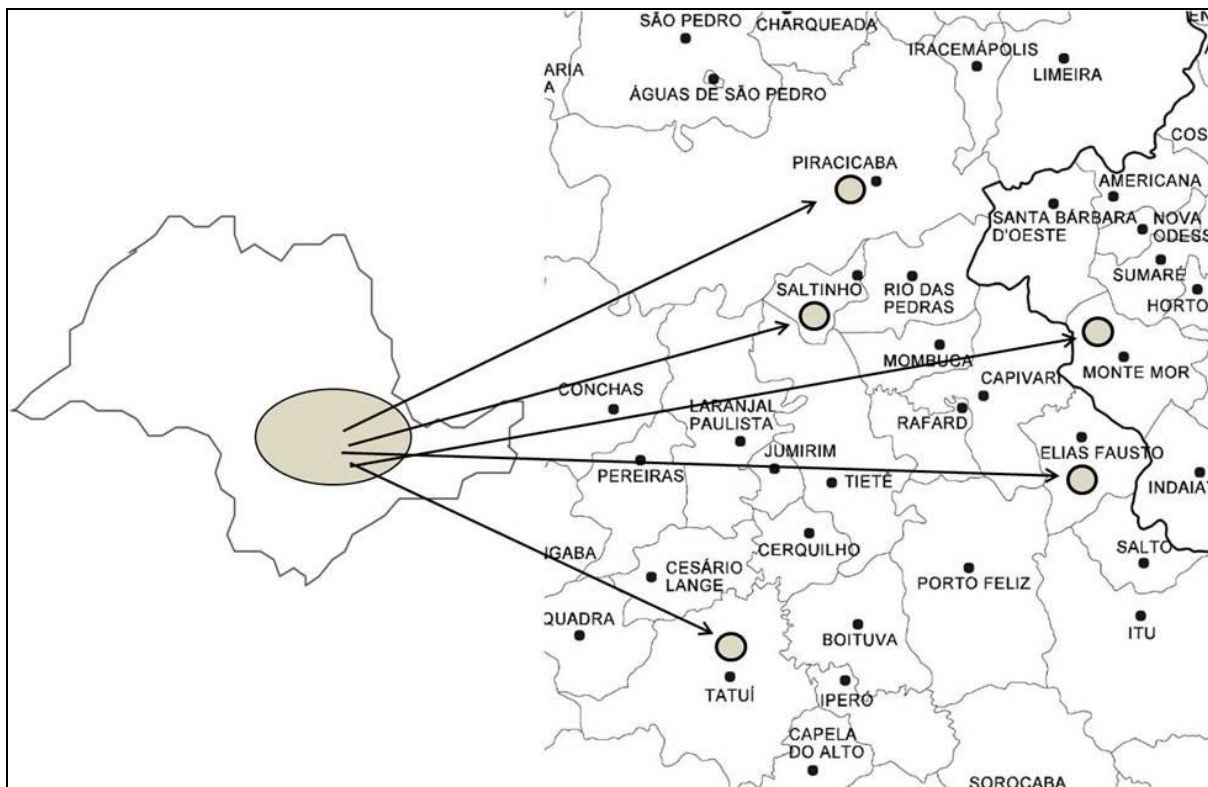


Figura 4 - Localização das cerâmicas visitadas no Estado de São Paulo.
Fonte: Modificado de Google Map Maker, 2011.

As empresas selecionadas se dispuseram a colaborar com a pesquisa, cedendo o material e auxiliando nas coletas diárias ao longo de todo o período de amostragem.

Durante as visitas foram efetuadas entrevistas com os responsáveis pelas empresas, aplicando-se um questionário, que teve por objetivo reunir informações sobre os aspectos técnicos e econômicos relacionados à biomassa utilizada para geração de energia. O **Anexo I** traz o modelo do questionário utilizado nas entrevistas.

Além das entrevistas e aplicação dos questionários foram visitadas as instalações das empresas, pátios de recebimento e estocagem de biomassa e sistemas de alimentação das fornalhas, sendo que o material coletado para as análises de laboratório era aquele já pronto para ser queimado, tendo recebido ou não já algum tipo de tratamento.

As Figuras 5 e 6 apresentam respectivamente uma imagem de uma carga padrão de cavacos sendo descarregada no pátio de estocagem de uma das empresas e o silo dosador que abastece as esteiras para alimentação das fornalhas.



Figura 5 - Caminhão contendo carga de cavacos.
Fonte: Lopes, 2012.



Figura 6 - Cavacos no pátio de estocagem de uma das cerâmicas.
Fonte: Lopes, 2012.

3.2 Métodos

3.2.1 Amostragem de biomassa

As coletas foram realizadas durante quatro semanas alternadas ao longo dos meses de julho, agosto e setembro de 2011. Em cada semana de amostragem, que era coincidente para todas as doze empresas participantes da pesquisa, foram feitas cinco amostragens, uma por dia, de segunda a sexta-feira, totalizando 240 amostras que continham aproximadamente 10 kg de material cada. A Figura 7 apresenta um saco plástico contendo uma amostra recém coletada, acondicionada e identificada.



Figura 7 - Exemplo de amostra coletada para ensaio.
Fonte: Lopes, 2012.

A coleta das amostras foi realizada no ponto de alimentação das fornalhas, ou seja, todo o material coletado estava pronto para ser queimado e fornecer energia aos fornos das cerâmicas. Dessa forma, procurou-se também evitar a coleta de material recém chegado às cerâmicas ou material que estivesse permanecido nos pátios de estocagem por muito tempo. O material coletado já estava devidamente misturado para composição do material a ser queimado nas fornalhas, de acordo com a preferência e determinação prática de cada empresa.

As amostras foram coletadas e acondicionadas em sacos plásticos grossos, que eram vedados, identificados e levados ao Laboratório de Química, Celulose e Energia (LQCE) do Departamento de Ciências Florestais da ESALQ/USP para execução das análises pré-determinadas para avaliação das suas características.

A Tabela 3 apresenta a estrutura amostral utilizada para as coletas.

Tabela 3 - Esboço da amostragem da biomassa realizada nas cerâmicas.

Cerâmica	Semana																																								
	1							2							3							4																			
Municipios	S	T	Q	Q	S	S	T	Q	Q	S	S	T	Q	Q	S	S	T	Q	Q	S	S	T	Q	Q	S	S	T	Q	Q	S											
1	Salinho	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
3	Piracicaba	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
5	Monte Mor	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120
7	Elias Fausto	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159	160
9	Tatui	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180	181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191	192	193	194	195	196	197	198	199	200
11	Tatui	201	202	203	204	205	206	207	208	209	210	211	212	213	214	215	216	217	218	219	220	221	222	223	224	225	226	227	228	229	230	231	232	233	234	235	236	237	238	239	240

A proposta das coletas em quatro semanas alternadas, ao longo de todos os dias dessas semanas, teve por objetivo abranger possíveis alterações nas características da biomassa que pudessem ser proporcionadas por diferenças entre fornecedores dos cavacos, bem como da interferência da sazonalidade que poderia ocorrer ao longo do período da coleta.

Outro aspecto considerado era que a maioria das coletas deveria ser realizada por funcionários das cerâmicas ao longo dos dias da semana, e que um maior universo amostral, com maior número de repetições, poderia auxiliar na diluição de possíveis falhas nas amostragens.

No início de cada semana foram distribuídos sacos plásticos pelas cerâmicas, previamente identificados, juntamente com presilhas para vedação. Todos os funcionários indicados pelas empresas para auxiliarem nas coletas diárias foram treinados sobre como proceder com a coleta e o armazenamento das amostras.

3.2.2 Caracterização da biomassa

3.2.2.1 Teor de umidade

O teor de umidade na base úmida foi determinado através da diferença de pesagem entre o material úmido, como recebido para análise, e após secagem em estufa a $103 \pm 2^\circ\text{C}$, até peso constante, utilizando-se a equação abaixo: form. (1)

$$U\% = \frac{P_u - P_s}{P_u} * 100 \quad (1)$$

onde:

$U\%$ = teor de umidade da amostra;

P_u = massa da amostra a umidade $u\%$, obtida nos pontos de alimentação das fornalhas das cerâmicas (g);

P_s = massa seca da amostra (g).

A determinação de umidade foi realizada imediatamente após a chegada do material ao laboratório, evitando-se, assim interferência nos resultados, devido à evaporação natural de água.

3.2.2.2 Densidade a granel

A determinação da densidade a granel foi obtida conforme norma da ABNT NBR 6922 (1981). O material foi colocado em uma caixa com dimensões padrão até se completar o seu volume. Em seguida, foi determinado o peso do conjunto. Para efeito de cálculo final do peso do resíduo, foi descontado o valor da tara da caixa.

O cálculo da densidade a granel foi realizado mediante a aplicação da seguinte equação:

$$DG = \frac{Pu}{Vu} \quad (2)$$

onde:

DG = densidade a granel (g/cm^3);

Pu = massa da amostra a umidade $u\%$ (g);

Vu = volume úmido (cm^3).

3.2.2.3 Avaliação da composição da biomassa

Durante a determinação das análises de umidade e densidade a granel, observou-se uma visível diferença na composição dos cavacos que compunham a biomassa e essa composição variava desde cavacos e pó de serra compostos somente por resíduos de serrarias até outros tipos de resíduos madeireiros oriundos da construção civil, painéis, restos de móveis, além de outros materiais não madeireiros em menor quantidade, tais como pedaços de plásticos, de metais, dentre outros.

Em função dessa grande variabilidade concluiu-se que a sua caracterização e classificação por tipo seria de fundamental importância e que dela dependeria todas as demais análises propostas no estudo. Sendo assim, todas as amostras foram submetidas a uma análise visual, sem uso de instrumentos de ampliação,

para identificação dos seus componentes para a sua classificação e agrupamento por similaridade. A partir de então, todas as demais análises descritas a seguir foram realizadas considerando-se o seu agrupamento.

3.2.2.4 Granulometria

Além da visível diferença apresentada para a composição da biomassa, observou-se também, uma grande variação na granulometria das partículas que compunham os materiais. Considerou-se, dessa forma, de fundamental importância a determinação da sua granulometria, que foi realizada mediante a pesagem dos cavacos em conjunto de peneiras de diferentes granulometrias (Figura 8). Calculou-se a quantidade percentual de material retido em cada uma das peneiras e o tamanho médio de suas partículas, mediante o uso do equipamento e procedimento indicado pela norma ABNT NBR 7402 (1982). Após essa determinação, calculou-se o tamanho médio das partículas, obtido pela seguinte equação:

$$TM = [B(a - c) + C(b - d) + \dots + L(k - m) + 100.1].0,005 \quad (3)$$

onde:

TM = tamanho médio das partículas (mm);

$a, b, c, d \dots l, m$ = abertura das malhas das peneiras (mm);

$A, B, C, D \dots L, M$ = percentagens acumuladas (%).

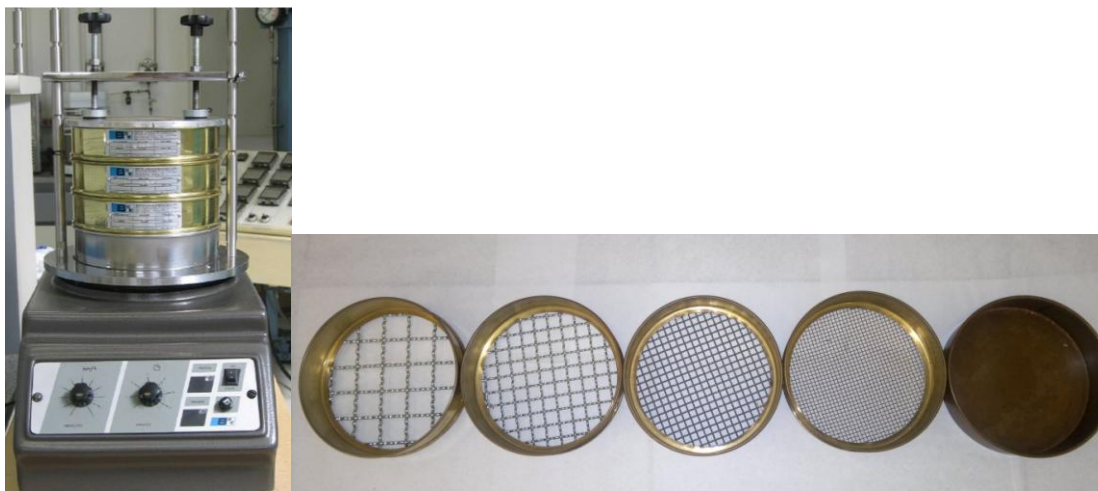


Figura 8 - Agitador eletromagnético de peneiras e conjunto de peneiras com diferentes granulometrias.

Fonte: Lopes, 2012.

3.2.2.5 Poder calorífico

Para esta determinação, as amostras foram moídas, secas, peneiradas e prensadas na forma de pastilhas com aproximadamente 1g cada uma. Em seguida foram levadas à estufa a 105 ± 2 °C até a estabilização do peso. Em seguida foram novamente pesadas e queimadas em bomba calorimétrica (Figura 9) obtendo-se o Poder Calorífico Superior de acordo com a norma ABNT-NBR 8633 (1984).



Figura 9 - Equipamento utilizado para determinação de poder calorífico ("C 2000 calorimeter system" - Ika® Werke). Detalhe da bomba calorimétrica (seta vermelha).

Fonte: Lopes, 2012.

3.2.2.6 Teor de cinzas

A análise imediata para determinação dos teores de cinzas (Figura 10) foi realizada segundo a norma ABNT NBR 8112 (1986).



Figura 10 - Equipamento utilizado para análise imediata de uma amostra de resíduo utilizando-se cadinho de platina com tampa e mufla (capacidade de atingir 1.000°C).
Fonte: Lopes, 2012.

3.3 Análises Estatísticas

O tratamento estatístico dos dados foi realizado por meio da ANOVA/MANOVA, utilizando-se o teste F para verificação de variação significativa ao nível de 95% e confirmação da variação através do Teste de média de Tukey.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Diagnóstico dos empreendimentos visitados

As informações contidas a respeito da caracterização dos empreendimentos analisados foram obtidas por meio de dados secundários, em âmbito nacional e regional, com foco no mercado interno. Além de dados secundários foi realizada uma análise dos questionários aplicados durante entrevistas de campo que tinham por objetivo levantar informações sobre a biomassa utilizada como fonte de energia nas cerâmicas, além de outras informações relacionadas com a atividade.

Especificamente com relação as 12 empresas que participaram deste estudo, elas estavam distribuídas em áreas rurais, porém próximos às áreas urbanas dos municípios de Monte Mor, Elias Fausto, Piracicaba, Saltinho e Tatuí, na região leste do Estado de São Paulo.

Todas as 12 empresas foram classificadas nas categorias de médio e grande porte, segundo classificação proposta por Santos (2003), ou seja, com produção mensal que variava entre 300 e 800 mil peças para médias empresas e acima de 800 mil peças para grandes empresas.

Quanto ao tipo de biomassa utilizada por essas empresas, segundo informações obtidas junto às associações de ceramistas consultadas, as empresas desse porte deixaram de utilizar a lenha em toretes ou “metrinho”, denominação muito conhecida no setor pra a tratar os toretes que medem um metro de comprimento, basicamente por quatro motivos: maior disponibilidade desse material para aquisição no mercado, por envolver uma questão ambiental, uma vez que se trata de um resíduo industrial ou de um material reciclado, por garantir uma maior homogeneidade na combustão, quando comparado com a lenha, e por fim pelo fato de que as indústrias de cerâmicas vermelhas vêm automatizando a alimentação das fornalhas. Para tanto vêm substituindo a lenha, tradicionalmente usada e carregada manualmente, por cavacos com a carga das fornalhas sendo feita por meio de esteiras rolantes.

A Tabela 4 apresenta os principais resultados obtidos a partir da aplicação do questionários junto às empresas cerâmicas.

Tabela 4 - Resultados obtidos dos questionários aplicados para as empresas

Cerâmicas	Localização	Produção mensal (mil peças)	Consumo cavacos (m ³ /mês)	Eficiência média (m ³ cavaco/mil peças)	Origem do cavaco (raio médio em Km)	Preço médio (R\$/m ³)	Temperatura média dos fornos (°C)	Alimentação dos fornos com cavacos
A	Saltinho	300	450	1,5	150	45,00	800	Manual
B	Saltinho	600	700	1,2	200	45,00	850	Mecanizada
C	Piracicaba	500	700	1,4	220	42,00	800	Manual
D	Monte Mor	1.500	2.000	1,3	230	50,00	900	Mecanizada
E	Monte Mor	1.000	1.500	1,5	350	43,00	850	Mecanizada
F	Monte Mor	2.000	2.800	1,4	200	40,00	800	Mista
G	Elias Fauso	1.700	2.700	1,6	230	48,00	800	Mecanizada
H	Tatuí	1.600	2.300	1,4	200	42,00	900	Mecanizada
I	Tatuí	3.000	4.000	1,3	150	40,00	850	Mecanizada
J	Tatuí	3.000	4.200	1,4	150	40,00	900	Mecanizada
K	Tatuí	2.000	3.000	1,5	180	45,00	800	Mecanizada
L	Tatuí	1.800	2.700	1,5	120	40,00	800	Mecanizada

Duas das empresas participantes da pesquisa, classificadas como de médio porte, ainda contam com sistema híbrido, sendo que alguns dos fornos ainda são alimentados com toretes, mas elas vêm trabalhando para deixar os fornos aptos a também queimarem cavacos em suas fornalhas.

Com relação à origem dos cavacos, o raio médio de distância que estes percorrem, desde a sua origem, é de aproximadamente 200 km. Cerca de 60% provém de pólos madeireiros localizados dentro dessa faixa média de distância, como as regiões sul do Estado de São Paulo (cidades de Buri, Itapeva, Capão Bonito e Itararé), norte pioneiro do Estado do Paraná (Arapoti, Jaguariaíva e Sengés) e sul de Minas Gerais (Extrema e Camanducaia).

De acordo com Queiroz; Barrichelo (2008), essas regiões são consideradas o berço dos reflorestamentos com pinus e eucalipto no Brasil, plantados no início do século XX para produção de madeira para ferrovias e para as primeiras indústrias de celulose e papel. Até hoje são regiões que concentram grandes áreas de reflorestamentos que geram madeira para indústrias de painéis, papel e celulose, mas que também abastecem as serrarias da região com toras de diâmetros maiores. Essas serrarias acabam gerando como subproduto resíduos provenientes do processamento de toras de pinus e eucalipto que são picados e transformados em cavacos. Esses cavacos são comercializados por intermediários, que têm as cerâmicas como importante consumidor.

Além dos resíduos de serrarias, foram encontrados cavacos originados de resíduos resultantes das operações da colheita florestal de pinus e eucalipto. Esses resíduos geralmente são deixados no campo por não possuírem aproveitamento, como galhos e ramo, parte superior da árvore, partes quebradas da árvore e toras que não atingem dimensões mínimas de uso de valor comercial insuficiente que justifique a sua remoção pelas empresas de painéis, papel e celulose (PINCELLI, 2011). Esse material normalmente é vendido para empresas de “residueiros” que coletam, processam e comercializam esse material. Pincelli (2011) aponta que a quantificação dos resíduos resultantes da colheita mecanizada de toras de *Eucalyptus grandis* com diâmetro acima de 6 cm, em sistema de colheita mecanizada resultou em 16,17 m³ de madeira desperdiçada, ou seja, 4,5% do total. Nolasco (1997), estudando a exploração de toras de caixeta (*Tabebuia cassinoides*) com no mínimo 12 cm de diâmetro, no Estado de São Paulo, apresentou uma

estimativa de que apenas 33% da madeira teriam sido aproveitadas para fins comerciais.

Além dos resíduos de serrarias e da exploração florestal, os 40% restantes provém principalmente de grandes centros urbanos, como as cidades de São Paulo, Campinas, Sorocaba, Jundiaí, Piracicaba, dentre outras. São resíduos originados da poda de arborização urbana e da reciclagem de resíduos madeireiros em geral, dispostos em lixões, em caçambas que recolhem entulhos, dentre outros. Torres-Filho (2005), analisando dados do SINDUSCON (Sindicato da Indústria da Construção Civil), estima que mais de um terço da madeira utilizada nas obras da construção civil transforma-se em resíduo, ao final dos trabalhos. O mesmo autor aponta as indústrias de transformação, não só as unidades industriais associadas ao segmento da madeira, mas a maioria das indústrias, como outra importante fonte geradora de resíduos madeireiros, que possuem em seus inventários de resíduos um controle da taxa de geração dos resíduos de madeira. Embalagens de equipamentos, paletes usados, descartes de peças, estrados, são armazenados transitoriamente nos depósitos dessas unidades, para posterior descarte.

Todas as empresas compram os cavacos de fornecedores, ou seja, nenhuma delas produz seu próprio cavaco, pelo qual pagam um preço médio que gira em torno de R\$ 43,00 por metro cúbico a granel, preço CIF, ou seja, preço do material já transportado e colocado no pátio da cerâmica. São várias as empresas que oferecem esse tipo de produto nas regiões de estudo, e os preços médios foram obtidos por meio de informações junto às próprias cerâmicas e por contatos com fornecedores via telefone ou internet.

Nenhuma das empresas participantes da pesquisa realizou algum tipo de tratamento aos cavacos antes de queimá-los nas fornalhas. Os cavacos são depositados em pátios cobertos e são misturados com aqueles remanescentes de outras cargas. O volume de estoque de cavacos nos pátios é muito variável e depende muito do porte e do poder aquisitivo da empresa, sendo que em média podem ser suficientes para suprir as cerâmicas por um período que varia de uma a duas semanas de produção. Pesam nessa variável o fator custo e espaço disponível para estocagem.

Para as empresas avaliadas, a temperatura máxima exigida nos fornos é da ordem de 900° C e a eficiência média apurada foi de 1,4 m³ de cavaco para cada

milheiro de peças acabadas produzidas. Algumas empresas informaram a sua produção em toneladas de produtos acabados por mês. Nesses casos a conversão para milheiros de peças foi feito com base no cálculo de que cada peça de cerâmica vermelha pesa em média 2kg (SEBRAE, 2008)

Como pergunta final do questionário aplicado às empresas solicitou-ser que estas descrevessem quais características que mais interferem para uma queima mais eficiente do cavaco no seu processo produtivo. A resposta unânime foi a necessidade de maior constância na qualidade do material, tanto para o tipo de madeira que compõe os cavacos, quanto para a umidade do material e a sua heterogeneidade, que normalmente varia de carga para carga recebida.

4.2 Caracterização da biomassa

A classificação dos materiais de acordo com a sua composição foi feita por meio de uma análise visual para identificação dos seus componentes de modo que fosse possível o seu agrupamento.

Todos os materiais foram encontrados durante as coletas e a sua ocorrência variava de dia para dia das semanas, de semana para semana, de empreendimento para empreendimento, sendo que alguns empreendimentos apresentavam maior variação do que outros.

Via de regra, os empreendimentos de menor porte foram os que apresentaram maior variabilidade na biomassa, e os de maior porte menor heterogeneidade.

Em função então da sua composição, os materiais foram classificados em dez tipos:

Tipo 1. Cavacos oriundos do desdobro de toras de pinus recém cortadas, processadas em serrarias, contendo pouca serragem, apresentando na sua composição madeira e resíduos de costaneiras.

Tipo 2. Cavacos oriundos do desdobro de toras de pinus recém cortadas, processadas em serrarias, contendo grande quantidade de serragem, apresentando na sua composição madeira e resíduos de costaneiras.

Tipo 3. Cavacos oriundos do desdobro de toras de eucalipto recém cortadas, processadas em serrarias, contendo pouca serragem, apresentando na sua composição madeira e resíduos de costaneiras.

Tipo 4. Cavacos oriundos do desdobro de toras de eucalipto recém cortadas, processadas em serrarias, contendo grande quantidade de serragem, apresentando na sua composição madeira e resíduos de costaneiras.

Tipo 5. Mistura dos Tipos 1 e 3, só que com maior quantidade de serragem misturada aos cavacos.

Tipo 6. Cavacos contendo diversos tipos de materiais madeireiros, de forma geral resíduos de móveis e de construção civil, sendo possível identificar materiais como painéis aglomerados, MDF, compensado, chapa de fibra e madeira sólida.

Tipo 7. Mistura dos Tipos 1 e 6

Tipo 8. Mistura dos tipos 2, 4 e 6.

Tipo 9. Serragem e maravalha oriundos do desdobro e beneficiamento de madeira de pinus.

Tipo 10. Mistura dos Tipos 1 e 3.

A Figura 11 apresenta imagens que retratam os dez tipos identificados.



Figura 11 - Imagens dos dez tipos de materiais identificados durante o período de coleta.
Fonte: Lopes, 2012.

A Figura 12 apresenta a porcentagem de ocorrência desses diferentes tipos de cavacos entre as amostras coletadas.

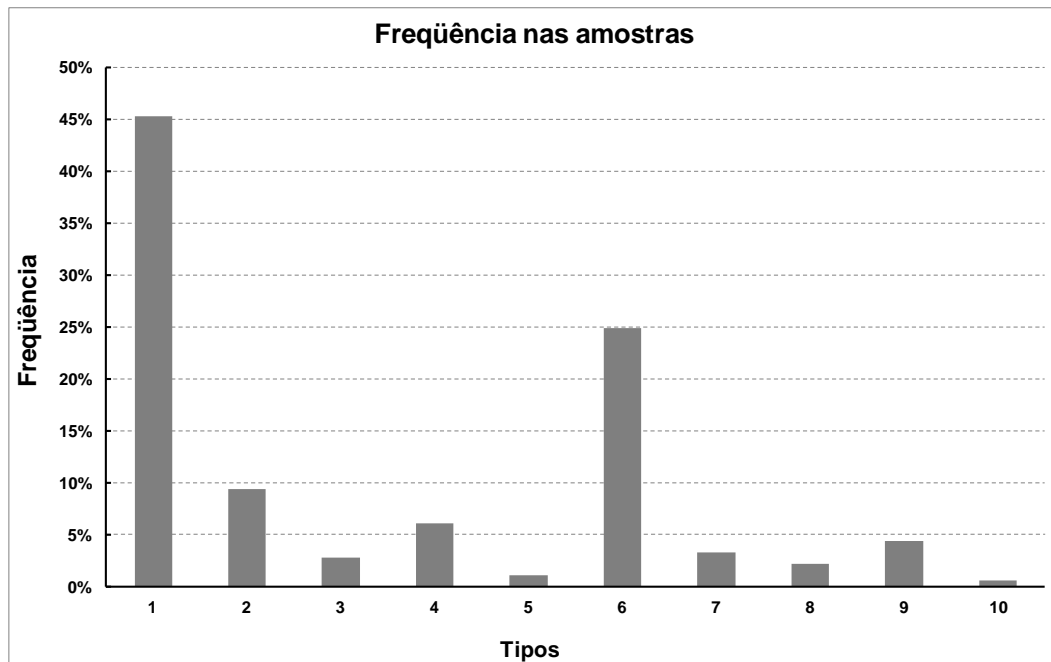


Figura 12 - Frequência dos dez tipos de cavacos nas amostras coletadas.

Observa-se na Figura 12 que os tipos mais freqüentes encontrados durante as coletas foram os tipos 1 e 6, presentes em 70% das amostras coletadas. O cavaco Tipo 1, presente em 45% dos casos é gerado em serrarias durante o processamento de toras de pinus. O cavaco Tipo 6, está sendo produzido em vários centros urbanos que processam principalmente entulhos de materiais madeireiros dispostos em caçambas, lixões e aterros, oriundos de podas de arborização urbana, de resíduos madeireiros da construção civil dentre outros.

Além de esses dois tipos serem os mais freqüentes entre as amostras coletadas, são eles também os mais disponíveis e oferecidos pelos fornecedores de cavacos contatados durante a pesquisa de campo. Essas informações foram obtidas posteriormente à aplicação dos questionários visando subsidiar a análise dos resultados e foram obtidas por contatos telefônicos e por consultas à internet.

A Figura 13 apresenta a freqüência da ocorrência dos diferentes tipos de cavacos nas cerâmicas participantes do estudo.

Observa-se que o Tipo 1 além de ser o mais freqüente entre todas as amostras (Figura 12) foi o que esteve mais presente nas cerâmicas amostradas, sendo encontrado em oito das doze. Destacam-se ainda os tipos 6 e 2, presente em seis cerâmicas. Os demais tipos apresentaram menor ocorrência nas cerâmicas, sendo que os tipos 4, 5 e 10 só foram encontrados em uma única cerâmica cada.

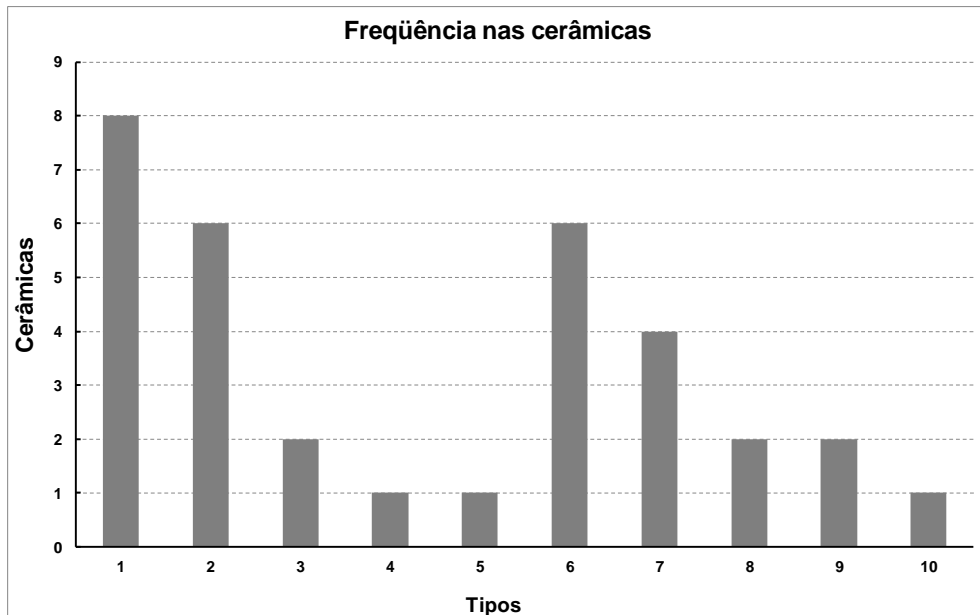


Figura 13 - Frequência dos dez tipos de cavacos nas cerâmicas.

A Figura 14 apresenta a frequência da ocorrência dos diferentes tipos de cavacos ao longo das semanas de amostragem. Nota-se que embora nem todos os tipos estivessem presentes em todas as cerâmicas (Figura 13), boa parte deles se repetiram ao longo das semanas de amostragem. Os tipos 1, 2, 3, 4, 6 e 9 estiveram presentes em todas as quatro semanas. O tipo 7 esteve presente em três semanas, os tipos 5 e 8 em duas semanas e o tipo 10 em apenas uma semana.

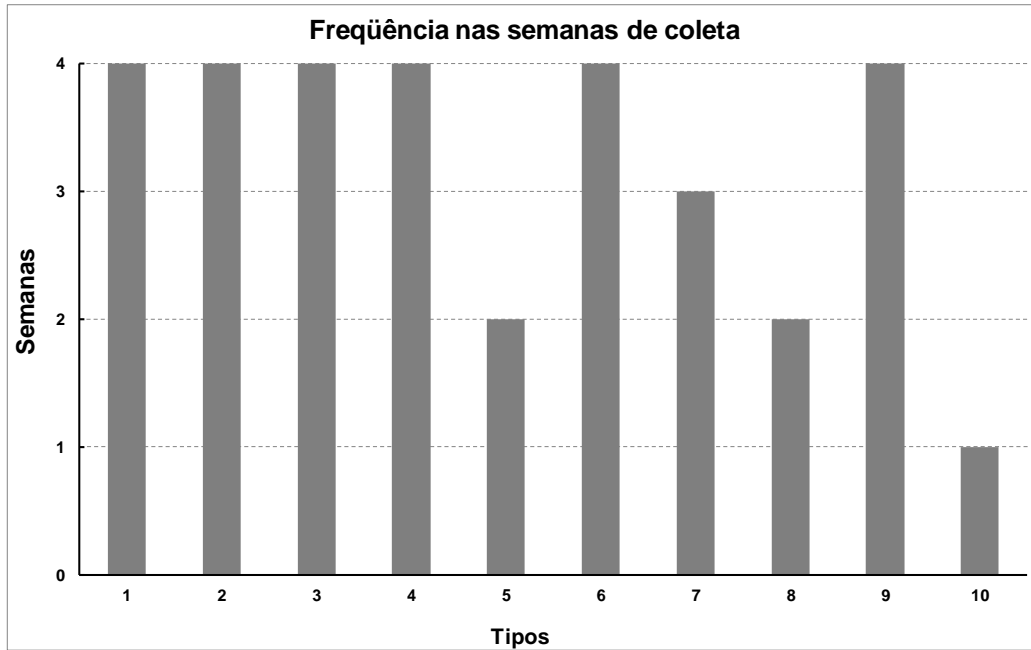


Figura 14 - Frequência dos 10 tipos de cavacos ao longo das semanas de amostragens.

Considerando-se uma análise mais detalhada dos resultados da análise visual, pode-se afirmar que os tipos 1 e 6, além de apresentarem maior frequência entre as amostras, estão presentes na composição de outros tipos. O tipo 1, por exemplo, faz parte da composição dos tipos 5, 7 e 10. O tipo 6 também faz parte da composição dos tipos 7 e 8, e o tipo 3 participa da composição dos tipos 5 e 10. Todos eles, em maior ou menor proporção de participação. Por esse motivo, não é de se estranhar que os resultados das análises de algumas das suas propriedades apresentem resultados semelhantes.

4.3 Teor de umidade

A Tabela 5 apresenta a variação dos teores de umidade entre os tipos de cavacos.

Assim como demonstrado na Figura 12, alguns dos tipos, tais como 3, 5, 8 e 10 tiveram uma baixa frequência de ocorrência durante a amostragem, chegando a não ser encontrados em algumas delas. Em função disso, para esses tipos, não foi possível o estabelecimento do teste de médias, pois não havia repetições suficientes para tal.

Tabela 5 - Teores de umidade entre os tipos de cavacos.

Tipo de cavaco	Teor de umidade (%)	
	Média ¹	Erro padrão
1	32,2 a	1,2
2	22,3 ab	6,0
3	11,3 -	-
4	16,8 bc	1,8
5	15,1 -	-
6	15,0 bc	2,7
7	24,5 ab	1,5
8	5,1 -	-
9	9,7 c	1,7
10	14,5 -	-

Médias seguidas com a mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de médias de Tukey ($p = 0,05$).

Os resultados demonstram que o Tipo 1 foi o material que apresentou maior teor de umidade, porém não se diferenciando estatisticamente dos tipos 2 e 7. É importante lembrar que o tipo 1 está presente na composição dos tipos 2 e 7, o que poderia explicar esse resultado. Os cavacos tipo 5 e 10 também possuem o tipo 1 na sua composição, no entanto, a falta de repetições impossibilitou uma análise mais aprofundada.

A justificativa para esse mais alto teor de umidade do tipo 1 deve-se ao fato desse material ser produzido em serrarias de pinus, cujas toras são processadas logo na seqüência da sua colheita na floresta, com teores de umidade que ultrapassam o ponto de saturação das fibras, aproximadamente 30% de umidade, conforme Jankowsky (1995). As toras de pinus devem ser processadas o mais rapidamente possível para evitar o aparecimento de fungos manchadores, que depreciam a madeira serrada produzida a partir dela. As costaneiras dessas toras, que contém mais alburno do que cerne, e conseqüentemente maior umidade, é a principal matéria-prima desse tipo de cavaco, o que também contribui para o seu maior teor de umidade. Panshin; Zeeuw (1970) relatam que a quantidade de água existente na madeira de árvores recém abatidas pode atingir o máximo de 2/3 da quantidade correspondente à saturação total. Existem, no entanto, variações de

árvore para árvore bem como dentro de uma mesma árvore. Nas coníferas a umidade do albarno pode ser superior a 200%, sendo este mais úmido que o cerne.

O tipo 6, que também participa da composição dos tipos 8 e 7, só que nesse último em menor quantidade, pode apresentar variados teores de umidade em função da sua composição e das condições de estocagem na origem, podendo estar ou não em ambiente coberto. Mesmo assim, apresentou valores intermediários de umidade, mas semelhantes ao do tipo 4. Esse, por sua vez, é produzido principalmente a partir de resíduos florestais que são processados depois da colheita e remoção das toras do talhão. Esse tipo ainda contém na sua composição uma certa quantidade de serragem de madeira. Pincelli (2011), avaliando o teor de umidade de resíduos florestais da colheita de eucalipto encontrou teores de umidade da ordem de 10,4%, que muito se aproximam daqueles obtidos para o tipo 3, que é igual ao tipo 4, mas praticamente sem serragem. Esta deve ser a responsável pelo maior teor de umidade do tipo 4 quando comparado com o do tipo 3. Outro ponto que pode explicar o maior teor de umidade dos cavacos do tipo 4 quando comparados com os dados de literatura é o próprio cavaqueamento. Um estudo com árvores de pequeno diâmetro (menores que 12,7 cm) mostrou que se houver chuva após as primeiras três ou quatro semanas do cavaqueamento, a biomassa cavaqueada absorverá umidade mais rapidamente do que a biomassa não cavaqueada. Somente com o aumento do tempo de secagem para cinco ou seis semanas é que as variações de umidade causadas por chuvas diminuirão (SIROIS et al., 1991).

O cavaco tipo 9 foi o que apresentou menor umidade, por se tratar de um resíduo obtido do processamento de madeira mais seca, principalmente em marcenarias. No entanto, mesmo que oriundo de materiais mais úmidos esse material apresentaria menor umidade, pois possui pequena espessura e maior superfície de contato, o que lhe possibilitaria maior perda de umidade.

Conforme explica Brito (1986), a umidade talvez seja o fator que exerce maior influência sobre o uso da madeira para energia. A presença de água representa poder calorífico negativo, pois parte da energia liberada é gasta na vaporização da água, ou seja, antes de ocorrer a combustão, a água precisa evaporar. Além disso, se o conteúdo de água for muito variável, pode dificultar o processo de combustão, havendo necessidade de constantes ajustes no sistema.

Essa também é a realidade para o setor de cerâmicas, em se tratando dos cavacos para queima. No entanto, segundo declarações do pessoal técnico, diretamente ligado com a operação dos fornos, cavacos muito secos também podem trazer problemas para a queima dos produtos cerâmicos. Esse tipo de material libera maior quantidade de energia térmica, a uma velocidade muito rápida, fazendo com que o forno alcance altas temperaturas muito rapidamente, o que, em determinados momentos do ciclo de produção poderá danificar os produtos cerâmicos, que podem apresentar trincas, rachaduras, entre outros defeitos.

Segundo informações dos operadores dos fornos, pior do que um material muito úmido ou muito seco é um material muito homogêneo. Esse tipo de material pode interferir no ciclo de produção, não sendo possível a manutenção da regularidade no processo de queima, conseqüentemente a cura dos produtos cerâmicos pode ficar prejudicada o que interfere negativamente na sua qualidade.

4.4 Densidade a granel

A Tabela 6 apresenta os resultados para densidade a granel “*in natura*” dos cavacos, ou seja, em seu estado com recebido em laboratório.

Tabela 6 - Variação da densidade a granel entre os tipos de cavacos.

Tipo de cavaco	Densidade a granel (kg m ⁻³)	
	Média ¹	Erro padrão
1	623,1 a	21,2
2	579,4 ab	71,3
3	569,7 -	-
4	517,1 ab	21,9
5	539,7 -	-
6	461,1 bc	18,4
7	546,4 ab	17,8
8	476,2 -	-
9	366,8 c	43,5
10	472,1 -	-

Médias seguidas com a mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de médias de Tukey ($p = 0,05$).

Os resultados apontam que o comportamento dos materiais para essa variável seguiu uma tendência muito semelhante àquela observada para a variável

umidade. As mesmas diferenças estatísticas obtidas para umidade se apresentaram novamente entre os tipos de cavacos para densidade a granel.

O tipo 1 foi o material que apresentou maior densidade, com valores semelhantes estatisticamente aos apresentados pelos tipos 2, 4 e 7. O tipo 6 novamente apresentou resultado intermediário, com valores que o aproximam do grupo de maior densidade, tipos 1, 2, 4 e 7, e do tipo 9 que apresentou a menor densidade entre todos.

Mais uma vez as características intrínsecas e de origem dos materiais que constituem os diferentes tipos de cavacos podem explicar a tendência dos resultados, e a sua relação direta observada para os resultados de umidade e densidade a granel (Figura 15).

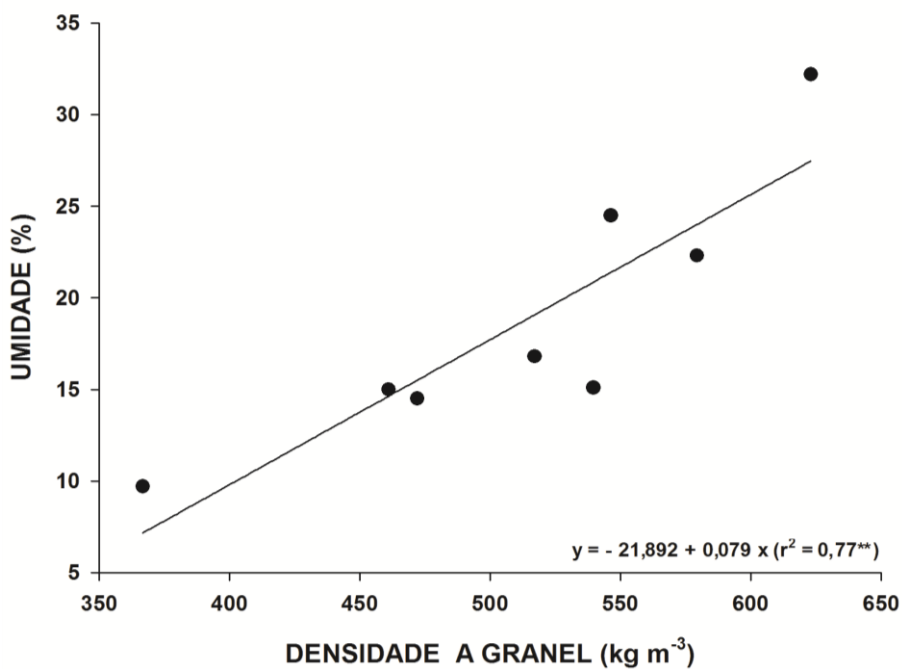


Figura 15 - Correlação entre umidade e densidade a granel.

A explicação para essa correlação positiva e diretamente proporcional entre densidade a granel e umidade consiste no fato da densidade ter sido analisada com o material na sua umidade “in natura”. Como a determinação foi obtida pela razão entre massa e volume, quanto maior a umidade do material maior será a sua massa e conseqüentemente maior será a sua densidade a granel.

Com exceção do tipo 9, que apresentou menor umidade e menor densidade a granel, para todos os demais materiais, além dos altos teores de umidade,

praticamente todos continham certa quantidade de serragem, que possui mais superfície de contato e que por isso pode absorver maior quantidade de umidade. Todas essas variáveis podem ter contribuído para que os valores de densidade a granel dos cavacos terem sido superiores ao que se encontra em literatura.

Brand et al. (2005), analisando resíduos oriundos de indústrias madeireiras da região de Lages, SC, encontrou para cavacos de pinus e eucalipto densidades a granel variando de 260 a 450 kg m⁻³. Leinonen (2004), analisando resíduos da colheita florestal obteve valores de densidade variando entre 130 e 180 kg m⁻³ para conteúdos de umidade entre 30 e 50%. Pincelli (2011), avaliando a densidade a granel de resíduos da colheita florestal encontrou valores de 193,5 kg m⁻³ para eucalipto e de 207,3 kg m⁻³ para pinus, considerando-se teor de umidade médio do material picado de 10,4% e 15,8%, respectivamente.

A grande preocupação que esse fato traz é que a comercialização dos cavacos é feita com base na densidade a granel, ou seja, dependendo da umidade do material e da sua composição, o ceramista estará pagando um valor fixo e estará recebendo maior ou menor quantidade de madeira. Até pouco tempo baixos rendimentos energéticos desses materiais eram compensados pela facilidade de obtenção desse tipo combustível a um custo mínimo. No entanto, deve-se considerar principalmente o aumento do custo de se transportar um material com tão alto teor de umidade e a baixa taxa de conversão energética, sendo de extrema importância observar a influência das variáveis como umidade, densidade, granulometria e poder calorífico na densidade energética, devido à influência direta no custo energético.

Analisando-se o comportamento das variáveis umidade e densidade a granel entre as cerâmicas participantes da pesquisa temos os seguintes resultados (Tabela 7):

Tabela 7 - Variação da umidade e da densidade a granel entre os tipos de cavacos e entre cerâmicas.

Cerâmicas	Cavaco Tipo 1		Cerâmicas	Cavaco Tipo 6	
	Umidade	Densidade a granel		Umidade	Densidade a granel
	(%)	(kg m ⁻³)		(%)	(kg m ⁻³)
A	33,5	615,8	D	14,0 bc	460,5
B	35,2	642,9	E	20,8 ab	499,9
D	23,9	527,4	F	23,0 a	462,1
G	30,9	647,5	I	11,5 bc	434,4
H	35,3	658,0	J	10,2 bc	474,4
-	-	-	K	6,1 c	401,0

Médias seguidas com a mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de médias de Tukey ($p = 0,05$).

Ressalta-se que somente para os tipos 1 e 6 e para algumas das cerâmicas, foi possível fazer essa análise, em função da ocorrência e do número de repetições suficientes para a elaboração do teste de médias. Nota-se que para o tipo 1, em uma análise da sua presença em cinco cerâmicas, os materiais não apresentaram, em média, diferenças significativas nem para umidade e nem para densidade a granel, sendo evidentes, para ambas as variáveis, valores mais altos, característica intrínseca ao cavaco tipo 1, conforme já relatado anteriormente.

Para o tipo 6, presente com maior frequência em seis cerâmicas, inclusive em uma daquelas onde o tipo 1 também foi analisado (cerâmica D), observa-se que não houve diferença significativa entre as cerâmicas para densidade a granel. No entanto constatou-se diferença significativa para umidade, sendo que o tipo 6 apresentou maiores teores na cerâmica F e menores teores na cerâmica K. Nas demais cerâmicas o comportamento dos cavacos para umidade manteve-se em uma posição intermediária.

Esses resultados demonstram que embora o tipo 1 apresente maiores teores de umidade ele pode ser preferível por apresentar maior homogeneidade. Já o tipo 6, mais seco que o tipo 1, apresenta grande heterogeneidade, fator complicador para a queima nos fornos da cerâmica.

Considerando os aspectos até aqui discutidos, pode-se dirigir a questão do uso de biomassa de resíduos florestais na linha da disponibilidade de material.

Existe uma tendência da diminuição da oferta de cavacos semelhantes ao tipo 1 e aumento da disponibilidade do cavaco tipo 6.

De acordo com a ABRAF, 2011, a área de pinus no Brasil sofreu uma redução de 4,3% no período de 2005 a 2010, caindo de 1.834.569ha para 1.756.359ha. Somente de 2009 para 2010 essa diminuição foi da ordem de 2%, com uma redução absoluta de 38,4 mil hectares. Os Estados que apresentaram as maiores reduções foram Paraná, São Paulo, Santa Catarina e Bahia, totalizando o decréscimo de 24.664 ha. Relativamente, destacaram-se as reduções evidenciadas em Goiás, Mato Grosso do Sul e Bahia (Figura 16).

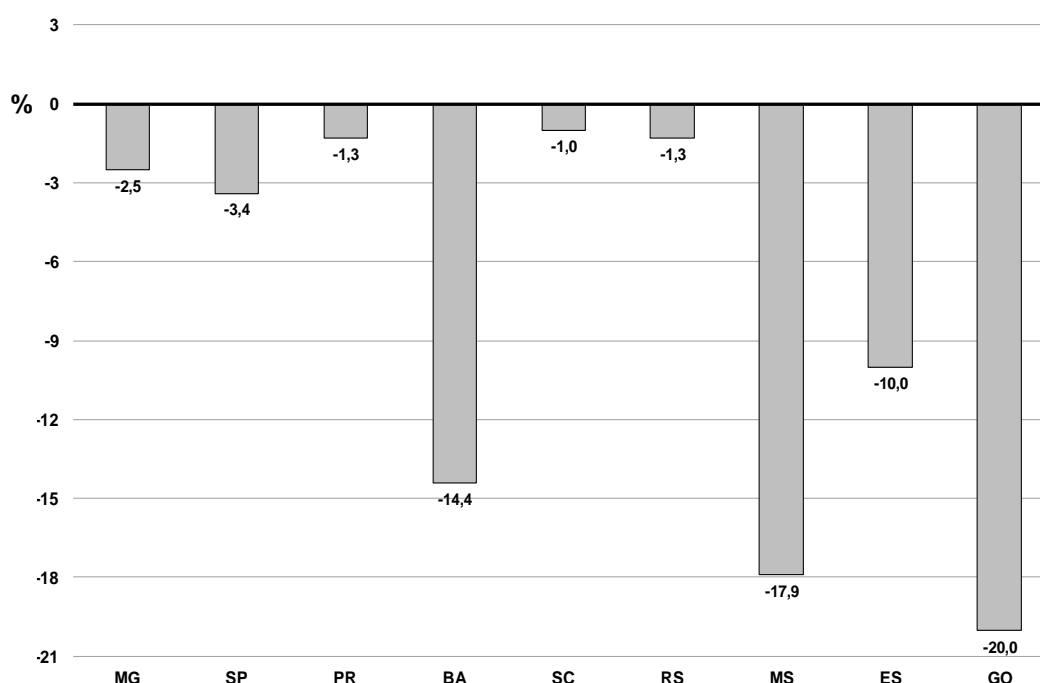


Figura 16 - Crescimento negativo da área plantada com pinus por Estado, 2009-2010. Fonte: Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas - ABRAF, 2011.

A substituição dos plantios de pinus por eucalipto, superior em rendimento e produtividade florestal, é natural. O ciclo do pinus para madeira serrada é, em média, 3 a 4 anos maior que o ciclo do eucalipto. Embora existam iniciativas para utilização do eucalipto em serrarias, em substituição ao pinus, esse movimento ainda é lento e depende de investimentos em tecnologia, em treinamentos e marketing para sua maior aceitação no mercado consumidor. Como o pinus ainda é a principal matéria-prima para serrarias e fonte dos cavacos tipo 1, o mais encontrado nas cerâmicas, a sua escassez deverá acarretar aumento de preço e

conseqüente busca por alternativas, como é o caso do cavaco tipo 6. A oferta deste, por sua vez, vem aumentando, pois crescem as iniciativas de reciclagem de materiais por todo o país. Contudo, como se trata de um material mais heterogêneo, as empresas terão que aprender a utilizá-lo para poderem extrair dele maiores rendimentos e melhores resultados.

Embora a utilização de resíduos seja uma boa alternativa para o setor, a definição de estratégias para garantia do fornecimento de madeira no longo prazo, requerem organização e mobilização. De acordo com a Lei Estadual Paulista nº 10.780/01, todos aqueles que exploram, suprimem, utilizam ou transformam produtos ou subprodutos florestais, ficam obrigados à reposição florestal, para garantia do suprimento futuro e combate a escassez. Para isso empresas como as do setor de cerâmica vêm recolhendo taxas para que a reposição florestal aconteça. É de suma importância que o setor se organize para acompanhar essas iniciativas e garantir que de fato aconteçam.

4.5 Granulometria

A Tabela 8 e a Figura 17 apresentam os resultados dos materiais retidos nas diferentes peneiras.

Os resultados obtidos para essa variável confirmaram os resultados das análises visuais dos materiais. Aqueles como os tipos 1, 3, 5, 6 e 7, que apresentavam na análise visual maior quantidade de pedaços de madeira do que de serragem, tiveram cerca de 90% das partículas retidas nas 3 primeiras peneiras, que possuíam as maiores aberturas das malhas. Para esses resultados não houve diferença estatística para os tipos 1, 3, 5, 6 e 7 em todas as peneiras utilizadas no ensaio.

Ainda confirmando a mesma tendência da análise visual, os tipos 2, 4 e 8, que apresentavam na sua composição materiais sólidos e serragem, em uma proporção aproximadamente equivalente, tiveram partículas retidas de forma homogênea por todas as cinco peneiras, não apresentando diferença estatística do comportamento entre eles para todas as peneiras.

Os resultados da análise de granulometria para o tipo 9 também obedeceram a expectativa da análise visual sendo que, nesse caso, a maior

quantidade de serragem e partículas menores ficaram pouco retidas nas malhas das peneiras mais abertas, sendo que 50% das partículas passaram pela malha mais fechada, ou seja, de 4mm de abertura.

A única surpresa ficou a cargo do cavaco tipo 10, que por ser composto somente pelos tipos 1 e 3, ou seja, maior quantidade de madeira sólida do que serragem, deveria ter apresentado um comportamento diferente o que o aproximaria dos resultados obtidos para os tipos 1 e 3. Ao invés disso o tipo 10 muito se aproximou dos resultados obtidos para o tipo 9. No entanto o fato desse material ter ocorrido somente em uma única amostragem, de uma única cerâmica, diminui a sua importância para análise e nos leva inclusive a ponderar se a sua ocorrência não pode ter sido fruto de uma falha na amostragem.

Tabela 8 - Distribuição do material retido dos diferentes tipos em diferentes granulometrias.

Tipo de cavaco	Abertura da malha das peneiras (mm)				
	31,5	16,0	8,0	4,0	< 4,0
	-----%-----				
1	32,0 abc	37,9 a	20,8 ab	5,1 c	4,1 e
2	17,4 cd	22,2 cd	20,1 ab	8,3 bc	32,1 b
3	22,7 bcd	36,8 a	24,7 ab	6,7 bc	9,1 d
4	19,8 cd	26,6 bc	18,5 ab	6,4 bc	28,7 b
5	38,2 ab	35,7 ab	14,5 b	4,5 c	7,1 de
6	43,2 a	31,1 abc	16,7 bc	5,4 bc	3,5 e
7	39,7 a	31,1 abc	20,2 bc	5,4 bc	3,6 e
8	16,8 cd	34,1 ab	20,7 bc	7,6 bc	20,2 c
9	6,4 d	6,9 e	25,5 a	12,4 a	48,0 a
10	8,8 d	16,2 de	19,6 ab	9,1 ab	46,3 a

¹ Médias seguidas com a mesma letra não diferem significativamente pelo teste de médias de Tukey ($p=0,05$).

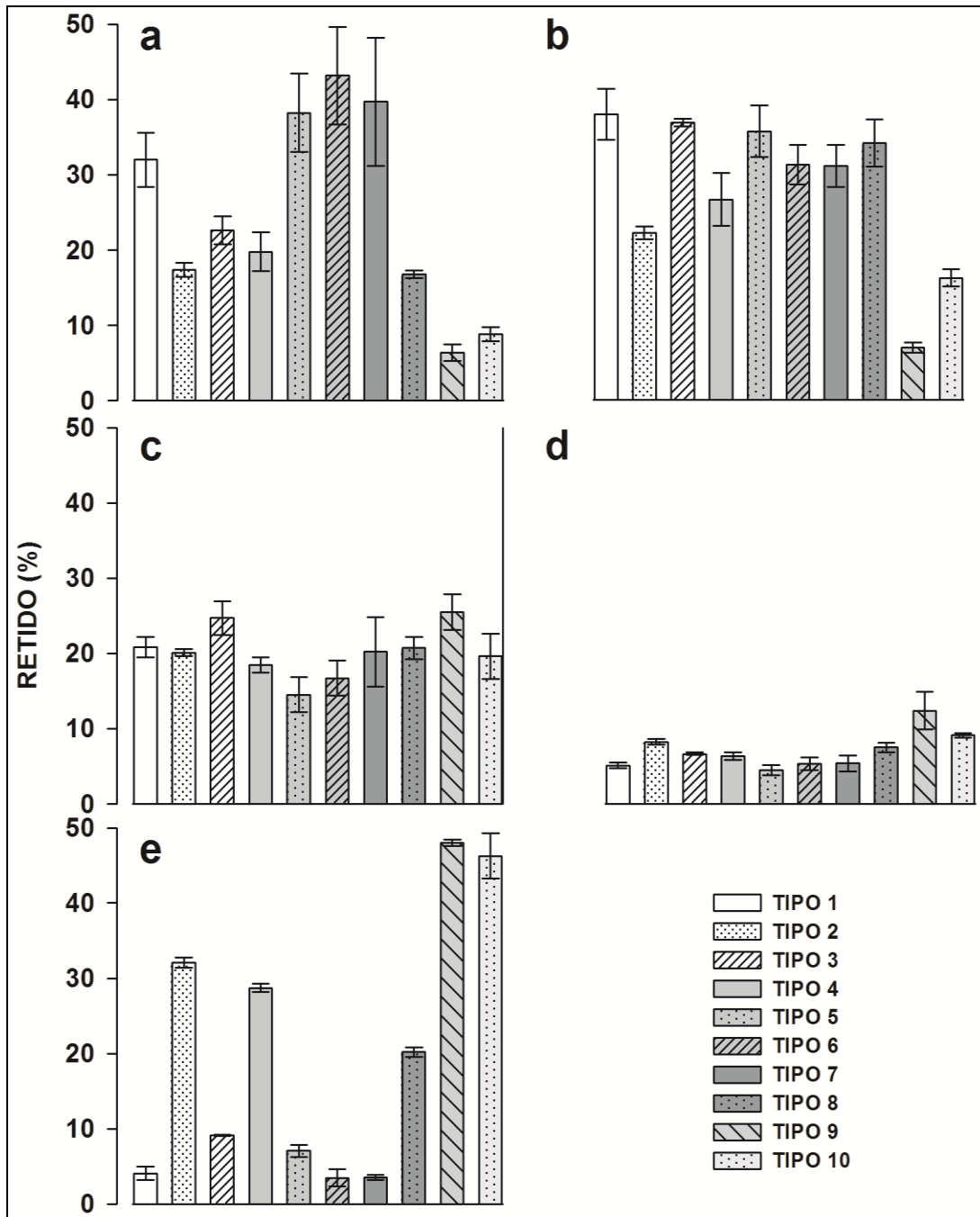


Figura 17 - Distribuição dos diferentes tipos de material retido nas peneiras de 31,5 mm (a), 16,0 mm (b), 8,0 mm (c), 4,0 mm (d) e < que 4,0 mm (e). A barra junto às médias representa seu erro padrão.

A Tabela 9 apresenta os resultados do tamanho médio das partículas dos cavacos.

Tabela 9 - tamanho médio das partículas entre os tipos de cavacos.

Tipo de cavaco	Tamanho médio das partículas (mm)	
	Média ¹	Erro padrão
1	24,9 ab	0,8
2	15,9 d	0,4
3	21,5 bc	0,6
4	17,6 cd	0,4
5	26,2 a	1,2
6	27,4 a	1,8
7	26,4 a	2,2
8	18,3 cd	0,4
9	9,0 e	0,4
10	11,3 e	0,4

¹ Médias seguidas com a mesma letra não diferem significativamente pelo teste de médias de Tukey ($p=0,05$).

Analisando-se os resultados para o tamanho médio das partículas, estes obedeceram a mesma tendência observada anteriormente para partículas retidas nas peneiras. Os tipos 1, 3, 5, 6 e 7 compõem um grupo de cavacos, que não possuem diferença estatística entre si para essa variável, mas diferem significativamente dos demais, apresentando maior tamanho médio das partículas. Os tipos 2, 4 e 8, também formam um segundo grupo, não apresentando diferença estatística entre si, diferentes dos demais, e apresentando tamanho médio das partículas intermediário. Já os tipos 9 e 10, também não diferem entre si, diferem-se dos demais tipos e apresentam menor tamanho médio das partículas.

Pottie; Guimier (1985) apud Canto (2009), afirma que a forma e o tamanho das partículas de uma determinada substância combustível podem afetar a sua taxa de conversão energética durante o processo de queima, principalmente de duas formas. Diferentes formas e tamanhos das partículas vão lhe conferir diferentes superfícies de área de contato e como as reações químicas ocorrem na superfície das partículas, qualquer desuniformidade poderá influenciar na taxa de combustão do material. Além disso, o tamanho e a forma das partículas também influenciam o combustível por interferirem na quantidade de oxigênio para a sua queima, proporcionando maior ou menor quantidade de espaços vazios em função dessas características.

4.6 Poder calorífico

A Tabela 10 apresenta os resultados para o poder calorífico dos cavacos.

Tabela 10 - Poder calorífico dos tipos de cavacos.

Tipo de cavaco	Poder calorífico superior (kcal kg ⁻¹)	
	Média ¹	Erro padrão
1	4716 cd	14,2
2	4778 bc	17,6
3	4648 de	18,5
4	4638 e	19,4
5	4657 de	24,3
6	4875 a	4,7
7	4793 b	22,8
8	4589 e	11,8
9	4652 de	20,8
10	4637 e	20,9

¹ Médias seguidas com a mesma letra não diferem significativamente pelo teste de médias de Tukey ($p=0,05$).

Os valores encontrados para o poder calorífico superior coincidem com aqueles encontrados em literatura por diversos autores para materiais madeireiros, ou seja, dentro de uma faixa que varia de 3.500 a 5.000 kcal kg⁻¹ (BRITO; BARRICHELO, 1982, QUIRINO et al., 2004, BRITO, 2008).

Os resultados demonstraram que os cavacos apresentaram um comportamento semelhante tanto para o poder calorífico superior quanto para o inferior. Embora tenham sido encontradas diferenças estatísticas entre os diferentes tipos de cavacos, do ponto de vista prático a diferença absoluta entre o material com maior poder calorífico do menor foi de apenas 6%. Isso se explica pelo fato de todos os materiais serem compostos basicamente por materiais madeireiros. Em estudo de Quirino et al. (2004), o PCS da madeira de 258 espécies florestais variou entre 4.685 a 4.736 kcal, com média de 4.710 kcal kg⁻¹, sendo considerada uma propriedade pouco variável. Essa faixa coincide com os resultados obtidos para PCS dos cavacos.

De qualquer forma, explorando os resultados obtidos observa-se que o cavaco tipo 6 foi o que apresentou maior PCS, seguido dos tipos 7, 2 e 1. O tipo 6,

conforme já descrito anteriormente, é composto por uma série de resíduos, entre eles, painéis que possuem na sua constituição substâncias fenólicas que devem ter interferido para um maior PCS desse material. O tipo 7 contém na sua composição cavacos do tipo 6 e madeira de pinus, que é o principal componente também dos tipos 2 e 1. A madeira de espécies coníferas, que contém mais extrativos do que as folhosas, geralmente apresenta PCS entre 4.700 e 6.600 kcal kg⁻¹, enquanto que a madeira de folhosas possui entre 4.400 e 5.800 kcal kg⁻¹ (INCE, 1977). Estudos indicam que a resina presente em determinadas espécies tem poder calorífico médio de 9.460 kcal kg⁻¹. Assim, espécies com altos teores de resina (coníferas) apresentam maior poder calorífico do que espécies com baixos teores de resina (folhosas) (BRITO; BARRICHELO, 1979).

Os demais materiais apresentaram PCS dentro de uma faixa média de 4.600 kcal kg⁻¹.

4.7 Teor de cinzas

A Tabela 11 apresenta os resultados da análise imediata para obtenção dos teores de cinzas nos cavacos

Tabela 11 - Cinzas originárias dos cavacos.

Tipo de cavaco	Teor de cinzas (%)	
	Média ¹	Erro padrão
1	0,44 a	0,3
2	1,21 bc	0,8
3	1,14 bc	0,8
4	1,87 de	1,3
5	1,10 bc	0,1
6	1,44 bcd	1,0
7	0,98 ab	0,6
8	1,68 cd	1,1
9	2,45 e	1,7
10	1,13 bc	0,1

¹ Médias seguidas com a mesma letra não diferem significativamente pelo teste de médias de Tukey ($p=0,05$).

O teor de cinzas do material a ser queimado indica qual será o volume de resíduos gerados após a queima do material. Com relação à madeira o teor de

cinzas é sempre baixo e neste estudo foram encontrados valores entre 0,44 a 2,45% de cinzas. Esses valores estão dentro da faixa encontrada por Brand et al. (2005), analisando resíduos oriundos de indústrias madeireiras da região de Lages, SC. Para esse material os teores de cinzas variaram entre 0,13 a 8,3%. Analisando resíduos da colheita florestal de pinus e eucalipto, Pincelli (2011), encontrou teores de cinzas de 0,53% e 0,98%, respectivamente. Canto (2009), também analisando resíduos de uma colheita florestal mecanizada em Minas Gerais encontrou teor médio de cinzas de 11,47%, mas com amplitude que variava de 0,78 a 44,76%. A autora atribuiu os altos valores obtidos à excessiva quantidade de impurezas, na maioria terra, carregada juntamente com a biomassa coletada para análise.

No presente estudo, dentro da amplitude observada para os teores de cinzas (0,44 a 2,45%) houve diferença significativa entre os diferentes tipos de cavacos.

O cavaco tipo 1 foi o que apresentou menores teores de cinzas, com valor médio de 0,44%, diferenciando-se isoladamente dos demais. O tipo 9 foi o que apresentou os maiores teores, 2,45%, diferenciando-se também dos demais, que ocuparam uma posição intermediária quanto aos teores de cinzas.

Para o tipo 1, durante a análise visual e análise granulométrica, já tinha sido constatado maior quantidade de sólidos do que de partículas menores como serragem na sua constituição. Já para o tipo 9, tanto na análise visual como na análise de granulometria, verificou-se maior quantidade de serragem e materiais finos na sua constituição. Os demais materiais apresentaram resultados intermediários, ou seja, haviam proporções homogêneas de partículas de maiores e menores dimensões.

A explicação para a presença de maior teores de cinzas nos materiais com maior participação de partículas pequenas, é que esse tipo de resíduo mistura-se mais facilmente com materiais contaminantes como areia, terra, dentre outros, que são materiais inertes na combustão, passando a fazer parte dos resíduos analisados como cinzas. Mencione-se que Gonçalves (2006), estudando briquetes produzidos com rejeitos de resíduos sólidos urbanos, correlacionou os maiores teores de cinzas ao aumento de impurezas aderidas aos resíduos, tais como terra e outros materiais inertes na geração de calor. Canto (2009), também atribuiu altos valores de teores de cinzas em resíduos de colheita florestal à excessiva quantidade de impurezas, na

maioria terra, carregada juntamente com a biomassa coletada para análise. A autora ainda comenta que as cinzas interferem na eficiência e na economia da combustão da biomassa, além de gerarem o problema da disposição final. O manejo das cinzas durante a geração de energia e a reciclagem dessas cinzas no ecossistema florestal são questões importantes no uso energético da biomassa florestal.

5. CONCLUSÕES/CONSIDERAÇÕES FINAIS

- ✓ A análise visual dos dez materiais originais permitiu a sua classificação em cinco grupos distintos: Tipo Visual I - cavacos de materiais sólidos decorrentes do processamento de toras e costaneiras em serrarias, com partículas maiores e sem serragem; Tipo Visual II - cavacos de materiais sólidos decorrentes do processamento de toras e costaneiras em serrarias, com partículas maiores, mas com serragem; Tipo Visual III - resíduos madeireiros oriundos da reciclagem de materiais diversos em centros urbanos; Tipo Visual IV - resíduos de marcenarias e Tipo Visual V - outros tipos decorrentes de misturas dos demais.
- ✓ As análises laboratoriais mais completas permitiram também a classificação dos materiais por grupos ainda mais afins: Grupo A: contendo materiais dos tipos 1, 3, 5, 6 e 7; Grupo B: contendo materiais dos tipos 2, 4 e 8 e Grupo C: contendo materiais dos tipos 9 e 10.
- ✓ Os materiais do Grupo A continham partículas com tamanhos médios maiores e com pouca serragem. Esse grupo foi o que apresentou maior umidade, maior densidade a granel, menor poder calorífico e menor teor de cinzas.
- ✓ Os materiais do Grupo B continham grandes quantidades de partículas menores e principalmente serragem. Esse grupo apresentou menor umidade, menor densidade a granel, maior poder calorífico e maior teor de cinzas
- ✓ Os materiais do Grupo C continham uma mistura mais proporcional entre partículas maiores e menores. Esse grupo apresentou resultados intermediários entre os Grupos A e B para as variáveis analisadas.
- ✓ As classificações obtidas abrem possibilidades para a proposição de critérios mais consistentes visando a melhoria de aspectos ligados à aquisição e utilização dos resíduos madeireiros pelo setor.
- ✓ No mérito dos resultados específicos dos materiais, os tipos 1 e 6 foram os que ocorreram com maior frequência, estando presentes na maioria das amostras, além de ocorrerem na grande maioria das cerâmicas amostradas e ao longo de todo o período da amostragem.
- ✓ O cavaco do tipo 1, composto basicamente por resíduos de serraria de pinus, foi o mais frequente e considerado preferido pelo setor de cerâmica. Tal

aspecto deve ser ponderado frente a tendência de escassez desse produto, dada a tendência de diminuição dos plantios da espécie no país.

- ✓ A densidade a granel teve correlação diretamente proporcional com a umidade, conseqüência dessa avaliação ter sido realizada com o material em seu estado “in natura”. Tal aspecto é relevante, pelo fato da comercialização de cavacos para energia ser realizada com base em volume.
- ✓ Para o processo de queima do material nos fornos a preferência dos operadores não é por materiais mais secos ou mais úmidos, mas sim por materiais mais homogêneos quanto a umidade e tamanho das partículas.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. Brasília: ANEEL, 2002. 153 p.

ALENCAR, J.M.C. **Combustíveis alternativos para a indústria de cerâmica vermelha** – apresentação. Maceió, 2004. 38 p. Disponível em: <<http://www.anicer.com.br/arquivos/.../Combustíveis%20Alternativos.ppt?...>>. Acesso em: 26 mai. 2011.

ANTUNES, B.M.F.; ALMEIDA, E.D.L. **Biomassa**: Produção e planejamento de energia elétrica. Coimbra: Universidade de Coimbra, 2003. 23 p. Relatório técnico. Disponível em: <<http://thor.deec.uc.pt/~ppee/docs0203/biomassa.pdf>> Acesso em: 13 mai. 2010.

AROLA, R.A. **Wood fuels: how do they stack up?** Atlanta: Forest Products Research Society, 1976. 12 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICAS – ABC. **Informações Técnicas**: Processo de Fabricação de Cerâmica Vermelha. 2011. Disponível em: <<http://www.abceram.org.br/site/?area=45>>. Acesso em: 08 mar. 2011.

_____. apud IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo). Imprensa: notícia – qualidade na cerâmica vermelha. São Paulo, 15 maio 2008. Disponível em: <<http://www.ipt.br/institucional/imprensa/noticias/?ID=885>>. Acesso em: 16 maio 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 6922**: carvão vegetal - ensaios físicos - determinação da massa específica (densidade a granel). Rio de Janeiro, 1981. 2p.

_____. **NBR 7402**: carvão vegetal - determinação granulométrica. Rio de Janeiro, 1982. 5p.

_____. **NBR 8633**: carvão vegetal - determinação do poder calorífico. Rio de Janeiro, 1984. 5p.

_____. **NBR 8112**: carvão vegetal - análise imediata. Rio de Janeiro, 1986. 5p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS - ABRAF. **Anuário estatístico da ABRAF 2011**: ano base 2010. Brasília: ABRAF, 2011. 130p.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA CERÂMICA – ANICER. ANICER (Associação Nacional da Indústria Cerâmica). **Site institucional**. Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://www.anicer.com.br/>>. Acesso em: 17 mar. 2007

_____. Cerâmicas ingressam em projetos para venda de créditos de carbono. **Revista da Associação Nacional da Indústria Cerâmica**, Rio de Janeiro, Ano 10, 50. ed., 2008.

BACCELLI JÚNIOR, G. Avaliação do processo industrial da cerâmica vermelha na região do Séri do - RN. 2010. 201p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica). Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2010. 201p.

BEESP - **Balanco Energético do Estado de São Paulo 2011**: Ano Base 2010. São Paulo: Secretaria de Energia, 2011. 264 p.

BEN - BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL - Relatório Final. **Balanco Energético Nacional 2011**: ano base 2010. Empresa de Pesquisa Energética - EPE. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2011.pdf>. Acesso em 26 out. de 2011.

BRAND, M. A.; COSTA, V.J.; DURIGON, A.; AMORIN, M. Determinação das propriedades energéticas de resíduos de madeira em diferentes períodos de armazenamento. In: CONGRESSO DE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA EM ENERGIA ELÉTRICA, 2005, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis, 2005.

BRAND, M.A. **Qualidade da biomassa florestal para o uso na geração de energia em função da estocagem**. 2007. 151p. Tese (Doutor em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

BRASIL - MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR. **Plano de Desenvolvimento do Arranjo Produtivo Local de Cerâmica Vermelha de Tambaú – SP**. Brasília: Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior, 2007. 73p.

BRASIL. MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA. **Balanco energético nacional 2008**: ano base 2007. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2010. 244p.

BRIANE, D.; DOAT, J. **Guide technique de la carbonisation**: la fabrication du charbon de bois. Aix-en-Provence: ÉDISUD, 1985. 180p.

BRITO, J.O. Expressão da produção florestal em unidades energéticas. In CONGRESSO FLORESTAL PANAMERICANO, 1., CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 7., 1993, Curitiba. **Anais...** Curitiba, p.280-282, 1993.

_____. O uso energético da madeira. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 21, n. 59, p.1-9, 2007.

_____. Usos diretos e propriedades da madeira para geração de energia. **Circular Técnica IPEF**, Piracicaba, n.52, p.1-15, 1979.

_____. Usos energeticos do *Eucalyptus grandis*. In: JORNADAS FORESTALES DE ENTRE RIOS, 9., 1994, Concordia. **Anais...** Concordia: INTA, 1994. p. 1-14.

_____. BARRICHELO, L.E.G. Aspectos técnicos da utilização da madeira e carvão vegetal como combustíveis. In: SEMINÁRIO DE ABASTECIMENTO ENERGÉTICO INDUSTRIAL COM RECURSOS FLORESTAIS, 2., 1982, São Paulo. **Anais...** São Paulo, p. 101-137, 1982.

_____; SILVA, F. G.; LEÃO, M.M.; ALMEIDA, G. Chemical composition changes in **Eucalyptus** and **Pinus** woods submitted to heat treatment. **Bioresource Technology**, Essex, v. 99, n. 18, p. 8545-8548, 2008

_____; FERREIRA, M.; BARRICHELO, L.E.G. Correlações entre características físicas e químicas da madeira e a produção de carvão vegetal. II. Densidade Básica da madeira x Densidade Aparente do carvão - Perspectivas de melhoramento. **Boletim Informativo ESALQ/USP**, Piracicaba, v. 6, n. 16, p.1-9, 1978.

BUSTAMANTE, G.; BRESSIANI, J. C. A indústria cerâmica brasileira. **Cerâmica Industrial**, São Paulo, v.5, n.3, 2000.

CAMPBELL, A.G. Recycling and disposing of wood ash. **Tappi Journal**, Atlanta, v. 73, n. 9, p. 141-146, 1990.

CANTO, J.L. **Colheita mecanizada de biomassa florestal para energia**. 2009. 127 p. Tese. (*Doctor Scientiae*). Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal. Universidade Federal de Viçosa, 2009.

CARBOCLIMA. Carboclima Consultoria Ambiental. **Projeto Biomassa**. Disponível em: <<http://www.carboclima.com.br/projetos-de-carbono/projeto-biomassa>. Acesso em: 14 out. 2011.

CARVALHO, O.O. **Perfil industrial da cerâmica vermelha no Rio Grande do Norte**. Natal: Federação das Indústrias do Estado do Rio Grande do Norte - FIERN/ Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial - SENAI, 2001. 1 CD-ROM.

CAVALIERE, A.S.; RAAD, A.; OLIVEIRA, L.C. de. **Conservação de energia nas pequenas e médias indústrias no Estado do Rio de Janeiro: setor de cerâmica vermelha**. Relatório Final do Projeto Conservação de Energia: Estudos Setoriais Aspectos Econômicos e Tecnológicos. Rio de Janeiro: SEBRAE/RJ, 1997. 54p.

COELHO, S.T.; VARKULYA JR., A.; PALETTA, C.E.M.; GUARDABASSI, P.; MARTINS, O.S. Geração de energia da madeira de reflorestamento. **Revista da Madeira**. Curitiba, Ano 11, n. 65, p. 24-26, 2002.

CORTEZ, L.A.B.; LORA, E.S.; AYARZA, J.A.C. Biomassa no Brasil e no mundo. In: CORTEZ, L.A.B.; LORA, E.S.; E.O. GÓMEZ (Ed). **Biomassa para energia**. São Paulo: UNICAMP, 2008. p. 15-29.

CUNHA, M.P.S.C.; PONTES, C.L.F.; CRUZ, I. A.; CABRAL, M. T. F. D.; CUNHA NETO, Z.B.; BARBOSA, A.P.R. Estudo químico de 55 espécies lenhosas para geração de energia em caldeiras. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 3., 1989. São Carlos. **Anais...** São Carlos, 1989, v.2, p. 93-121.

ELIAS, X. **A fabricação de materiais cerâmicos**. Barcelona: Editora Ecnothermia cerâmica S. L. Matardepera, 1995. 198p.

FOELKEL, C.E.B.; MORA, E.; MENOCELLI, S. Densidade básica: Sua verdadeira utilizada como índice de qualidade da madeira de eucalipto para a produção de celulose. **O papel**, São Paulo, v.53, n.5, p.35-40, 1992.

GONÇALVES, J.E. Caracterização química e energética de briquetes produzidos com rejeitos de resíduos sólidos urbanos e madeira de *Eucalyptus grandis*. 2006. 75p. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP – Campus de Botucatu, 2006.

GRIPP, W. G., **Aspectos técnicos e ambientais da Incineração de resíduos sólidos urbanos: Considerações sobre a proposta para São Paulo**. Escola de Engenharia de São Carlos / USP, 1998.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO – IPT. **Qualidade na cerâmica vermelha**. São Paulo, 1980. 57p.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA – INMETRO. Portaria n.º 152, de 28 de maio de 2009. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001452.pdf>>. Acesso em: 31 mai. 2011.

IPCC - SPECIAL REPORT OF THE INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE -. Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation, 2011. Disponível em: <http://srren.ipcc-g3.de/report/IPCC_SRREN_Full_Report.pdf>. Acesso em: 01 de jul. de 2011.

JANKOWSKY, I.P. Equipamentos e processos para secagem de madeiras. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE UTILIZAÇÃO DE MADEIRA DE EUCALIPTO PARA SERRARIA, 1., São Paulo, 1995. **Anais...** São Paulo: IPEF;IPT, 1995. p.109-118.

JARA, E.R.P. **O poder calorífico de algumas madeiras que ocorrem no Brasil**. São Paulo: IPI, 1989. 6p. (IPI. Comunicação Técnica, 1797).

KOFMAN, P.D. Quality wood chip fuel. Dublin: COFORD, 2006. 4 p.

LEINONEN, A. **Harvesting technology of forest residues for fuel in the USA and Finland**. Espoo, Finland: VTT, 2004. 132 p.

LIMA, C.R. Energia, sociedade e desenvolvimento sustentável: o caso de Água Clara - MS. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 3., 2000, Campinas. **Anais eletrônicos...** Campinas, 2000. Disponível em: <http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC0000000022000000200005&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 31 mai. 2011.

MAFRA, Antero Tadeu. **Proposta de indicadores para a indústria de cerâmica vermelha**. 1999. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas, Universidade Federal de

Santa Catarina, Florianópolis, 1999. Disponível em:
<<http://www.eps.ufsc.br/disserta99/antero/cap5.htm>>. Acesso em: 27 set. 2010.

MARTÍ, B.V. Situación de los sistemas de aprovechamiento de los residuos forestales para su utilización energética. **Revista Ecosistemas**, Móstoles, v. 15, n. 1, p. 77-86, 2006.

MOTTA, J.F.M. **Panorama das matérias-primas utilizadas na indústria de revestimentos cerâmicos**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 2000. 7p.

NOLASCO, A.M. Análise quantitativa dos resíduos da extração e processamento da caixeta (*Tabebuia cassinoides*) no Vale do Ribeira-SP. In: WORKSHOP SULAMERICANO SOBRE USOS ALTERNATIVOS DE RESÍDUOS DE ORIGEM FLORESTAL E URBANA, 1997, Curitiba. **Anais...** Curitiba: Embrapa Florestas, 1997. p.113-116.

NORTON, F.H. **Introdução à tecnologia cerâmica**. São Paulo: Edgard Blucher, 1973. 324 p.

NURMI, J. The effect of whole-tree storage on the fuelwood properties of short-rotation *Salix* crops. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v.8, n.4, p. 245-249. 1995.

PANSHIN, A.J.; ZEEUW, C. **Textbook of wood technology**. 3. ed., New York: McGraw-Hill, 1970. 736 p.

PINCELLI, A.L.P.S.M. **Características dos resíduos da colheita de madeira de eucalipto e pinus, submetidos ao tratamento térmico, com foco na aplicação energética**. 127p. 2011. Tese (Doutorado em Recursos Florestais). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ/USP.2011

POTTIE, M.A.; GUIMIER, D.Y. **Preparation of forest biomass for optimal conversion**. Canadá: FERIC/IEA, 1985. 112 p.

QUEIROZ, L.R.S.; BARRICHELO, L.E.G. **O Eucalipto: um século no Brasil (The Eucalypt: a century in Brazil)**. Edição Duratex S/A. 2007, 131 p. Disponível em:
<http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/O%20Eucalipto_Duratex.pdf>. Acesso em: 12 fev. 2010.

QUIRINO, W.F.; VALE, A.T.; ANDRADE, A.P.A.; ABREU, V.L.S.; AZEREDO, A.C.S. Poder calorífico da madeira e de resíduos lignocelulósicos. **Biomassa e Energia**, Viçosa, v. 1, n. 2. p. 173-182. 2004.

RENDEIRO, G.; NOGUEIRA, M.F.M; BRASIL, A.C; CRUZ, D.O.A.; GUERRA, D.R.; NEGRÃO, E.M.; ICHIHARA, J.A. **Combustão e Gasificação de Biomassa Sólida**. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2008. 190 p.

SANTOS, C.S. **A indústria cerâmica em Barra Bonita (SP) e suas relações com a usina hidrelétrica de Bariri: panorama e perspectiva**. Dissertação. 2003. 78p. (Mestrado em Geociências, Área de administração e política de Recursos Minerais),

Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP. Campinas, SP. 2003.

SEBRAE - SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS - **Cerâmica Vermelha**: Estudo de mercado. Brasília: Ed. SEBRAE, 2008. 41 p.

SEBRAE - SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS - **Diagnóstico de produção das empresas ceramistas e olarias do Oeste Paulista**. São Paulo: SEBRAE, 2007. Disponível em: <http://www.sebraesp.com.br/principal/sebrae%20no%20estado/erpresidenteprudente/noticia_mais_competitividade.aspx>. Acesso em: 10 Out. 2011.

SEBRAE - SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS - **Máquinas e Equipamentos para a Indústria Cerâmica**. Rio de Janeiro: Ed. SEBRAE, 2000. 27p.

SIROIS, D.L.; RAWLINS, C.L.; STOKES, B.J. Evaluation of moisture reduction in small diameter trees after crushing. **Bioresource Technology**, Oxford, v. 37, p. 53-60, 1991.

SECRETARIA DE ESTADO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA, DAS MINAS E ENERGIA – SECTME/SC. **Diagnóstico do setor de cerâmica vermelha em Santa Catarina**. Florianópolis: SECTME/SC, 1990. 76 p.

SOARES, R.V. **Queimas Controladas: Prós e Contras**. *Anais/IPEF*: 6-10, abril, 1995.

SÜFFERT, R.L.; BAJAY, S.V.; LIMA, C.R. **Energia, Sociedade e Desenvolvimento Sustentável**: O Caso da Reposição de Florestas Plantadas no Rio Grande do Sul. Disponível em: <<http://www.aondevamos.eng.br/verdade/artigos/enersoc.htm>>. Acesso em: 3 dez. 2005.

SUPERINTENDÊNCIA DO DESENVOLVIMENTO DO NORDESTE - SUDENE; INSTITUTO TECNOLÓGICO DO ESTADO DE PERNAMBUCO - ITEP. Conservação de energia do setor industrial: cerâmica estrutural. Recife, 1988. 113 p.

TAPIA, R.E.C. et al. **Manual para a indústria de cerâmica vermelha**. Rio de

TORRES- FILHO, A. **Viabilidade Técnica e Ambiental da Utilização de Resíduos de Madeira para a Produção de um Combustível Alternativo**. Dissertação 122p. 2005. (Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, 2005.

UNIÃO NACIONAL DA CONSTRUÇÃO – UNC. **A construção do desenvolvimento sustentado: a importância da construção na vida econômica e social do país**. São Paulo, 2006. 34 p. Disponível em: <http://www.sindusconsp.com.br/especiais/Uniao_nacional_construcao/doc_unc.pdf>. Acesso em: 10 fev. 2010.

VALE, A. T., BRASIL, M. A. M., CARVALHO, C. M., VEIGA, R. A. **Produção de energia do fuste de *Eucalyptus Grandis* Hill Ex-Maiden e *Acacia Mangium* Willd em diferentes níveis de adubação**, v.6, n.1, p.83-88, 2000.

VARANDA, L.D.; CARASCHI, J.C.; ALMEIDA FILHO, F. Potencial energético do carvão vegetal de bambu. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, XII, 2010, Lavras. **Anais...** Lavras, 2010.

VIANNA, A.; VIEIRA, L.S.R.; NASCIMENTO, M.V.G. **Manual de Aplicação de Sistemas Descentralizados de Geração de Energia Elétrica para projetos de Eletrificação Rural – Energia Biomassa**. Centro de Pesquisas de Energia Elétrica – CEPEL, 2000. 41p.

VILLAR, V.S. **Perfil e perspectivas da indústria cerâmica vermelha do sul de Santa Catarina**. 1988. 84p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1988.

ANEXOS

ANEXO A

QUESTIONÁRIO UTILIZADO NA PESQUISA JUNTO ÀS CERÂMICAS

Questionário para avaliação do uso energético de resíduos madeireiros em um pólo de cerâmicas vermelhas do Estado de São Paulo

1. Informações gerais

- a) Nome da Empresa:
- b) Endereço:
- c) Cidade:
- d) Nome e função de quem respondeu à pesquisa:
- e) Capacidade de produção da indústria:
() em toneladas de produtos/mês:

2. Informações sobre a biomassa utilizada como fonte de energia

- a) Composição: Marcar uma ou mais alternativas que representem a biomassa utilizada com maior frequência ao longo do ano.
 - () Cavacos de serraria (pinus)
 - () Cavacos de serraria (eucalipto)
 - () Cavacos de serraria (pinus e eucalipto misturados)
 - () Serragem
 - () Resíduos industriais (indústria moveleira)
 - () Resíduos de construção civil
 - () Resíduos de madeira em geral (restos de palletes, caixaria, móveis velhos, etc).
 - () Outros (especificar)

- b) Quantidade de biomassa utilizada:
 - () em toneladas/mês ou () em m³/mês

- c) Preço médio da biomassa colocada na indústria:
 - () em R\$/toneladas ou () em R\$/m³/

- d) Local de origem:
 - Cidades:
 - Distância média () em km

e) Tipo de fornecedor:

- Direto do produtor
- Atravessador
- Outros (especificar)

f) A características da biomassa se alteram ao longo do ano quanto à;

- Umidade
- Granulometria
- Composição
- Outros (especificar)

g) Executa algum tipo de pré-tratamento da biomassa antes de queimá-la? (marcar uma ou mais alternativas)

- Secagem
- Peneiramento
- Picagem ou moagem
- Revolvimento da pilha
- Outros (especificar)

h) Condições de armazenamento da pilha de biomassa:

- Galpão coberto
- A céu aberto

i) Tempo médio de consumo de uma pilha de biomassa:

- em dias

j) Forma de consumo da pilha de biomassa:

- Utiliza toda a pilha antes de misturar material recém chegado
- Mistura material recém chegado na pilha em utilização

k) Forma de alimentação dos fornos com biomassa:

Manual

Com esteira

l) Temperatura máxima exigida no processo:

°C - Parte superior do forno

°C - Parte inferior do forno

°C - Temperatura única do forno

m) Eficiência média mensal estimada:

m³ de biomassa por tonelada de produto cerâmico produzido

tonelada de biomassa por tonelada de produto cerâmico produzido

n) Descreva, em sua opinião, quais características que mais interferem para uma queima mais eficiente da biomassa no seu processo produtivo: