



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ
INSTITUTO DE BIODIVERSIDADE E FLORESTAS
BACHARELADO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS**

JESSICA SABRINA DA SILVA FERREIRA

**ANÁLISE DO CONSUMO ENERGÉTICO DE SERRAGEM EM
OLARIAS NO MUNICÍPIO DE SANTARÉM-PA**

**Santarém, Pará
2019**

JESSICA SABRINA DA SILVA FERREIRA

**ANÁLISE DO CONSUMO ENERGÉTICO DE SERRAGEM EM
OLARIAS NO MUNICÍPIO DE SANTARÉM-PA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de graduação em Ciências Agrárias para obtenção grau de Bacharel em Ciências Agrárias: Universidade Federal do Oeste do Pará, Instituto de Biodiversidade e Florestas, Orientador Victor Hugo Pereira Moutinho.

**Santarém, Pará
2019**

JESSICA SABRINA DA SILVA FERREIRA

**ANÁLISE DO CONSUMO ENERGÉTICO DE SERRAGEM EM
OLARIAS NO MUNICÍPIO DE SANTARÉM-PA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de graduação em Bacharelado Interdisciplinar em Ciências Agrárias para aprovação de grau, submetido à Universidade Federal do Oeste do Pará, área de Ciências Agrárias.

Conceito:

Data de Aprovação ____/____/____

Doutor – Victor Hugo Pereira Moutinho – Orientador
Universidade Federal do Oeste do Pará

Mestre – Thiago Augusto de Sousa Moreira
Universidade Federal do Oeste do Pará

Engenheiro Florestal – Anselmo Junior Corrêa Araújo
Universidade Federal do Oeste do Pará

AGRADECIMENTO

A Deus.

Ao Laboratório de Tecnologia da Madeira pela oportunidade de aprimoramento profissional.

Ao Professor Doutor Victor Hugo Pereira Moutinho, pela competente orientação, pela amizade e confiança em mim depositada.

Ao Professor Fernando Wallase Carvalho Andrade pela imprescindível colaboração.

A Pró-Reitoria de Pesquisa, Pós-Graduação e Inovação Tecnológica, pela oportunidade de bolsa.

A Fundação Amazônia Paraense de Amparo à Pesquisa.

Às olarias Cerâmica Tijolão, Cerâmica Tapajós e Cerâmica Perfil, pela concessão do material de estudo e informações prestadas.

Aos amigos Anselmo Araújo e Felipe Gabriel pela execução das análises estatísticas.

Aos meus pais por todo apoio e compreensão.

Ao meu amigo Silvino Mota Junior por todo apoio e amizade, que foram essenciais no decorrer do curso.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	8
METODOLOGIA.....	8
MATERIAL E MÉTODOS.....	9
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	10
CONCLUSÃO.....	13
ANEXO A.....	15

ANÁLISE DO CONSUMO ENERGÉTICO DE SERRAGEM EM OLARIAS NO MUNICÍPIO DE SANTARÉM-PA

Resumo

As indústrias de cerâmica em Santarém utilizam, em sua ampla maioria, serragem como fonte de energia no processo de queima dos tijolos, onde os fornos em questão chegam a atingir temperaturas superiores a 900° C. No entanto, a serragem muitas vezes encontra-se com umidade elevada e impurezas, diminuindo seu rendimento energético e aumentando a quantidade de resíduo após sua queima, elevando os custos. Desta forma, objetivou-se caracterizar este cenário por meio de coletas in loco de amostras de serragem para as devidas análises energéticas, assim como a quantificação do material utilizado. Três olarias foram selecionadas para o estudo e, todas utilizam a mesmo volume de serragem para produzir um milheiro de tijolos. Constatou-se que, a forma de armazenamento dos resíduos influencia mais no teor de umidade que o período do ano e que, a produção de tijolos em Santarém gera muitos resíduos.

Palavras-chave: cerâmica, resíduos, biomassa, energia.

ANALYSIS OF ENERGY CONSUMPTION OF SAW MILLS IN THE MUNICIPALITY OF SANTARÉM-PA

Abstract

The ceramic industries in Santarém use, in their majority, sawdust as a source of energy in the process of burning the bricks, where the furnaces in question reach temperatures higher than 900° C. However, sawing often finds itself with high humidity and impurities, reducing its energy efficiency and increasing the amount of residue after burning, raising costs. In this way, the objective was to characterize this scenario by means of in loco collections of sawdust samples for the proper energy analyzes, as well as the quantification of the material used. Three potteries were selected for the study, and all use the same volume of sawdust to produce one million bricks. It was found that the way of storage of the residues influences more in the moisture content than the period of the year and that the production of bricks in Santarém generates a lot of waste.

Keyword: ceramic, waste, biomass, energy.

Introdução

A biomassa, do ponto de vista energético, é toda matéria orgânica, seja de origem animal ou vegetal, que pode ser utilizada na produção de energia (ANEEL, 2002). Por ser considerada uma fonte limpa e renovável, o interesse na utilização da biomassa ganhou espaço no mercado de energia, passando a ser considerada uma boa alternativa para a diversificação da matriz energética mundial (CARDOSO, 2012).

Uma das alternativas usada para a geração de energia é a biomassa de resíduos resultantes dos processamentos da madeira. 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, 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 (LOPES, 2012).

Citando a indústria de base florestal, os resíduos podem ser divididos em: lenha, serragem, cepilho e maravalhas. Por lenha pode-se entender os resíduos como costaneiras, refios, aparas, casca e outros, que corresponde a 71% dos resíduos da indústria de base florestal, seguido da serragem com 22% e cepilhos e maravalhas com 7% (BRITO, 1995).

O uso destes resíduos para a produção de energia está associado à redução no consumo de combustíveis fósseis, tendo diferentes utilizações nos processos industriais como por exemplo o uso na fabricação de tijolos. No entanto, é comum que esses resíduos possuam variedade de formas, densidades, granulometrias, ou seja, considerável heterogeneidade (LOPES, 2012).

Lopes (2012) afirma ainda que, 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, é compensado pela fácil obtenção destes resíduos por um custo mínimo.

Assim, faz-se importante avaliar a quantidade de resíduos madeireiros provenientes de serrarias fornecidos para olarias, caracterizando-os como potenciais para a produção de energia, visando diminuir o consumo de biomassa energética sem alterar a produtividade de materiais, a partir da secagem do material gerado pelo processamento secundário da madeira. Deste modo, o presente estudo tem como objetivo analisar o consumo energético de serragem em olarias localizadas no município de Santarém – PA.

Materiais e métodos

Os dados foram coletados em 3 olarias, no município de Santarém – PA, no período de dezembro de 2017 a junho (Período 1) e julho a novembro de 2018 (Período 2), visando a utilização de diferentes cenários – período chuvoso e seco respectivamente– para melhor compreensão e quantificação do uso da serragem nas olarias. As Olarias 1 e 2, estão localizadas nas margens Rodovia Santarém/Curuá-Una e a Olaria 3 está situada na Rodovia Everaldo Martins, na região conhecida como Eixo Forte.

Posteriormente, foram obtido valores de (i) quantidade de milheiros de tijolos por fornada e (ii) quantidade em metros cúbicos de serragem utilizada para obter-se o valor de m³ de serragem gasto por milheiro de tijolo produzido.

Para a densidade a granel, pesou-se em balança semianalítica a massa correspondente ao volume de 20ml, a 12% de umidade, conforme exposto no Anexo A, e calculada através da fórmula $d = m/v$, onde: m= massa, v= volume. Esta variável é essencial para quantificar o volume de resíduo com formas irregulares, uma vez que esta oferece importantes informações que são úteis para a logística, como o transporte dos resíduos, já que considera os espaços vazios entre as partículas.

Amostras das serragens foram coletadas para determinação do teor de umidade, conforme NBR 7190 (ABNT, 1997) e análise química imediata para materiais voláteis, cinzas e carbono fixo utilizando-se triplicata de acordo com a metodologia da norma D1762-84 (ASTM, 2013), além da determinação do poder calorífico superior e inferior por meio de uma bomba calorimétrica adiabática modelo IKA C2000, pelo método de Berttelot, que consiste na combustão do material em um ambiente fechado, na presença de oxigênio e sob pressão.

Tendo os dados atendidos às prerrogativas para a análise paramétrica foi aplicada Análise de Variância e o teste T para comparação de médias ao nível de 95% de probabilidade. Nos casos onde os dados não atenderam as prerrogativas foi utilizado o teste de Kruskal-Wallis ao mesmo nível de probabilidade. Os dados foram analisados com o auxílio do suplemento estatístico Action.

Resultados e discussão

Quantidade de serragem e milheiros de tijolos por fornada

Das olarias estudadas, a 1 e a 2 utilizam 60m³ de serragem por fornada, equivalente a 5 “carradas” e, cada fornada produz 25.000 tijolos de tamanho padrão (6 furos). Na Olaria 3, são utilizadas 4 “carradas” de serragem, totalizando 48m³ por fornada, produzindo 20.000 tijolos de tamanho padrão. Em média 3 dias são necessários para o cozimento dos tijolos. Todas

as olarias consomem 2,4m³ de serragem para produzir 1000 tijolos.

Em ambos períodos, seco e chuvoso, são utilizadas as mesmas quantidades de serragem em todas as olarias estudadas.

Densidade a granel

A **Tabela 1** mostra os valores de densidade em cada olaria. Segundo o teste Tukey, os valores tiveram diferenças significativas ($P= 3,75.10^{-07}$). A Olaria 1 obteve o menor valor de densidade, podendo ser explicado pela granulometria do resíduo, uma vez que estes eram maiores em comparação com os da Olaria 3, permitindo uma maior quantidade de espaços vazios no becker. Importante salientar que resíduos com menores granulometrias têm maior facilidade de se misturarem com areia e outras impurezas, comprometendo a comportamento energético do material.

Tabela 1: valores de densidade considerando o primeiro período de coleta

Local	d (g/cm³)
1	0,33 a
2	0,37 b
3	0,43 c

*valores seguidos de letras iguais não diferem significativamente.

Para a segunda coleta, de acordo com o teste de Kruskal-Wallis ($P=0,007$), os valores também tiveram diferença significativa, porém, a menor densidade foi encontrada para a Olaria 3 (Tabela 2). Esta diferença pode ser explicada devido as diferentes granulometrias do material. Além disso, é possível ver que em ambos os períodos o valor de 0,33 g/cm³ se repete para a Olaria 1, ou seja, provavelmente a mesma serragem do primeiro período ainda está sendo utilizada.

Tabela 2: valores de densidade considerando o primeiro período de coleta

Local	d (g/cm³)
1	0,33 a
2	0,20 b
3	0,16 c

Análise química imediata

Para valores de umidade (Tabela 3), levando em consideração o fator período de coleta, não houve diferença significativa, segundo o teste de Kruskal-Wallis ($P=0,23$). Entretanto, quando considerado o fator local, ilustrado na **Tabela 4**, houve diferença ($P=0,01$). Isto pode ser explicado devido a forma que esta serragem é acomodada no local.

Tabela 3: valores médios do teor de umidade considerando o fator período

Período	TU (%)
1	13,83 a
2	16,38 a

*Valores seguidos de letras iguais não diferem estatisticamente.

O valor mais alto encontrado de umidade foi para a Olaria 2, onde a serragem é armazenada dentro de um galpão, protegida nos períodos chuvosos, em contrapartida, não é eficazmente seca devido à falta de exposição ao Sol. Na Olaria 1, o resíduo fica exposto ao ar livre, conseqüentemente, garantindo a secagem deste material devido a longa exposição ao sol e ventilação natural, além disso, os fornos ficam bem próximos às serragens, proporcionando também calor para que o material seque mais rápido, mesmo em período chuvoso. Apesar da Olaria 3 também deixar seus resíduos expostos, as serragens ficam distantes dos fornos.

Tabela 4: valores médio de teor de umidade considerando o fator local

local (rank)	TU (%)
2	16,72 a
3	15,77 ab
1	12,82 a

*Valores seguidos por letras iguais não diferem estatisticamente.

Os valores médios obtidos na análise química imediata para as coletas nos dois períodos são apresentados na **Tabela 5**. Quando analisados segundo o fator período, não houve diferença estatística.

Tabela 5: valores médios de teores de voláteis (TMV), cinzas (TCZ) e carbono fixo (TCF) considerando o fator período

	Período 1			Período 2		
	Olaria 1	Olaria 2	Olaria 3	Olaria 1	Olaria 2	Olaria 3
TMV (%)	79,15	77,63	75,85	74,21	77,68	80,31
TCZ (%)	6,92	2,20	6,28	7,63	8,47	0,76
TCF (%)	13,93	20,17	17,88	18,16	13,85	18,94

Na **Tabela 6**, as médias da análise química imediata estão apresentadas de acordo com o fator Local, e aqui, observa-se a diferença significativa apenas nos valores do teor de cinzas. O maior valor encontrado foi para a Olaria 1, seguido da Olaria 2. Isto diz respeito a capacidade da serragem deixar resíduos após sua queima total, ou seja, de todas, a que tem menos resíduos por fornada é a Olaria 3.

Estes valores são altos comparados aos valores encontrados por Lopes, G. A. (2012) e Brand et al. (2005), na faixa de 0,44 a 2,45% de cinzas. E contrapartida, Canto (2009) achou valores mais altos na colheita florestal mecanizada em Minas Gerais, em média 11,47%, sendo justificado pela autora o fato de os resíduos apresentarem altas quantidades de impurezas como areia, fato também evidenciado nas coletas das olarias em Santarém.

Tabela 6: valores médios de teores de voláteis (TMV), cinzas (TCZ) e carbono fixo (TCF) considerando o fator local

	Olaria 1	Olaria 2	Olaria 3
TMV (%)	76,68 a	77,66 a	78,08 a
TCZ (%)	7,27 a	5,34 ab	3,52 b
TCF (%)	16,04 a	17,01 a	18,41 a

*Valores seguidos de letras iguais nas linhas não diferem estatisticamente.

Para o poder calorífico superior (PCS) os valores encontrados, levando em consideração o local, houve diferença significativa ($P=0,001$), entretanto, analisando o PCS da serragem em relação ao período da colheita, não obteve-se diferença. Isto pode ser explicado devido o material ser heterogêneo, com resíduos de madeiras de espécies distintas, caroço de açaí e outros materiais lignocelulósicos, além de impurezas como areia.

Na **Tabela 7** estão os valores de Poder Calorífico Superior (PCS) e Poder Calorífico Inferior (PCI). Em ambos, a serragem proveniente do sítio 3 tem menores valores. Segundo Cunha et al. (1989), o elevado teor de umidade acarreta no menor poder de combustão, devido a água absorver energia para evaporação.

Entretanto, o menor valor de PCI encontrado não corresponde com o teor de umidade elevado da olaria. Isso porque o poder calorífico da madeira, além da umidade, é altamente influenciado pela sua constituição química, principalmente lignina e extrativos (JARA, 1989).

Tabela 7: valores médios de Poder Calorífico Superior (PCS) e Poder Calorífico Inferior (PCI) considerando o fator local

Local	pcs (kcal/kg)	pci (kcal/kg)
2	4645,67 a	4168,00 a
1	4547,16 a	4116,33 a
3	4356,83 b	3974,83 b

*Valores seguidos por letras iguais nas linhas não diferem estatisticamente.

Conclusões

O período do ano não influencia na quantidade de resíduo utilizado nos fornos.

Os resíduos utilizados em olarias têm granulometrias desuniformes.

A forma de armazenamento das serragens influencia no teor de umidade

Os resíduos utilizados em olarias de Santarém são heterogêneos, com grandes quantidades de impurezas, comprometendo a sua capacidade energética e conseqüentemente deixando muitos resíduos após a queima total.

Referências

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

ASTM. Standard Test Method for Chemical Analysis of Wood Charcoal1. D1762 – 84. 2013

BRAND, Martha A., et al. "Determinação das propriedades energéticas de resíduos de madeira em diferentes períodos de armazenamento." CONGRESSO DE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA EM ENERGIA ELÉTRICA. Anais do III Citenel, Florianópolis: Agência Nacional de Energia Elétrica. 2005.

BRITO, Edvá Oliveira. Estimativa da produção de resíduos na indústria brasileira de serraria e laminação de madeira. **Revista da Madeira**, v. 4, n. 26, p. 34-39, 1995.

CANTO, JULIANA LORENSI. **COLHEITA MECANIZADA DE BIOMASSA FLORESTAL PARA ENERGIA**. 2009. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Viçosa.

CARDOSO, Bruno Monteiro; DO NASCIMENTO, J. M. Uso da biomassa como alternativa energética. **Monografia (Curso de Engenharia Eletrica)-Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica**, 2012.

CUNHA, M. P. S. C. et al. Estudo químico de 55 espécies lenhosas para geração de energia em caldeiras. **Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira**, v. 3, p. 93-121, 1989.

JARA, Elias RP. O poder calorífico de algumas madeiras que ocorrem no Brasil. **São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas–IPT**, 1989.

LOPES, Guilherme de Andrade. **Uso energético de resíduos madeireiros em um pólo de produção de cerâmicas vermelhas do Estado de São Paulo**. 2012. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

