

ROGNOLI, V. *et al.* DIY materials. **Materials and Design**, v. 86, p. 692–702, 5 dez. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2015.07.020>

ROGNOLI, V.; KARANA, E. Toward a New Materials Aesthetic Based on Imperfection and Graceful Aging. Em: KARANA, E.; PEDGLEY, O.; ROGNOLI, V. (Eds.). **Materials Experience: fundamentals of materials and design**. Oxford: Elsevier, 2014. p. 145–154. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-099359-1.00011-4>

SCARPITTI, C. The Contemporary Jewelry Perspective. Meanings and evolutions of a necessary practice. **Journal of Jewellery Research**, v. 4, p. 59–76, 2021.

SINIR - SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE A GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS. **Relatório Nacional de Gestão de Resíduos Sólidos**. Brasília: SINIR, 2021.

STATISTA. **Global MSW recycling rates by country**. New York: Statista, 2023.

WALCHHUTTER, S.; KALIL HANNA, E.; SOUZA, W. DA S. INOVAÇÃO VERDE: Produtos e processos como fator de vantagem competitiva. **Revista Observatório**, v. 5, n. 5, p. 797–820, 1 ago. 2019. DOI: <https://doi.org/10.20873/uft.2447-4266.2019v5n5p797>

WORRELL, E.; REUTER, M. A. (EDS.). **Handbook of Recycling**. Amsterdam: Elsevier, 2014.

XAVIER, L. H.; CARVALHO, T. C. **Gestão de resíduos eletroeletrônicos : uma abordagem prática para a sustentabilidade**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014.

Relação de eficiência energética na combustão de briquetes em fornos a lenha

Energy efficiency ratio in the combustion of briquettes in wood ovens

João Gabriel Brunetto Kopsel, acadêmico de engenharia mecânica, Instituto Federal de Santa Catarina.

joaogkopsel@gmail.com

Sabrina da Silveira Hauschild, acadêmico de engenharia mecânica, Instituto Federal de Santa Catarina.

Sabrinahauschild299@gmail.com

Jeancarlos Araldi, Dr., Instituto Federal de Santa Catarina

Jeancarlos.araldi@ifsc.edu.br

Número da sessão temática da submissão – [7]

Resumo

Briquetes são lenhas ecológicas, oriundas da secagem e prensagem sob pressão e temperatura elevada de serragem e pós de madeira. Nas últimas décadas, a busca pela sustentabilidade e pela economia verde aumentou significativamente. Com isso, diversos estudos e projetos científicos foram elaborados visando aumentar a produção de energia por fontes renováveis. O presente trabalho teve como objetivo estimar a eficiência energética da queima de briquetes em fornos a lenha. Visando comparar sua eficiência ante a queima de lenha convencional em fornos de pizzarias, em temperatura ideal. Considerando a quantidade de combustível gasta, a temperatura, o espaço de armazenamento e a relação custo-benefício. Comprovou-se que briquetes tem maior poder calorífico e mais facilidade para liberar energia, o que faz com que haja maior rendimento em menos tempo. A umidade dos briquetes é relativamente baixa, o que faz com que seu consumo seja menor que o da lenha.

Palavras-chave: Briquete; Eficiência Energética; Energias Renováveis

Abstract

Briquettes are ecological firewood, derived from the drying and pressing under pressure and high temperature of sawdust and wood dust. In recent decades, the search for sustainability and the green economy has increased significantly. As a result, several studies and scientific projects have been designed to increase energy production from renewable sources. The present work aimed to estimate

the energy efficiency of burning briquettes in wood ovens. Aiming to compare its efficiency with the burning of conventional firewood in pizzeria ovens, at an ideal temperature. Considering the amount of fuel used, temperature, storage space and cost-effectiveness. It has been proven that briquettes have greater calorific power and are more likely to release energy, which results in greater yields in less time. The humidity of the briquettes is relatively low, which means that its consumption is lower than that of firewood.

Keywords: *Briquette; Energy Efficiency; Renewable energy*

1. Introdução

Atualmente todos os serviços em geral dependem de fontes de energia para operarem, desde setores manufatureiros até prestadores de serviços. De acordo com a Agência Internacional de Energia (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2011)

O consumo mundial de energia aumentará em pelo menos um terço entre 2010 e 2035. A demanda será incentivada pelo rápido crescimento dos países não membros da Organização Comum de Desenvolvimento Econômico (OCDE) (por exemplo: Argentina, Brasil, China, Índia, Indonésia, Rússia, Arábia Saudita e África do Sul), que serão responsáveis por 90% do crescimento da população, 70% do aumento da produção econômica e 90% do crescimento da demanda de energia no período citado (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2011).

Com os aumentos significativos do uso de energias, nota-se uma maior preocupação em relação ao meio ambiente. A busca por fontes renováveis de energia que causem menos impactos ambientais tem aumentado constantemente. Uma iniciativa que pode ser citada é a busca pela eficiência energética, a qual tem como finalidade aprimorar e demonstrar um melhor uso das fontes de energias utilizadas em diversas áreas com o intuito de maximizar seu potencial causando regularmente um menor impacto no ambiente, ou seja, fazer mais utilizando menos. Frequentemente sua aplicação promove benefícios dos quais pode-se citar, redução de custos de operação, redução dos impactos ambientais e maior apreço pelo estabelecimento.

A combustão de lenha é um método para geração de calor utilizado desde os primórdios da humanidade. Com a revolução industrial no século XVIII esse processo tornou-se evidente como principal fonte de energia. Contemporaneamente, combustão a lenha é amplamente utilizada em caldeiras para geração de vapor. Contudo, o impacto ambiental causado pela combustão de lenha é significativamente alto, em função do desmatamento e do tempo necessário para repor a biomassa utilizada ao meio ambiente.

Em vista disso uma nova tecnologia surgiu, desenvolvida para minimizar tais impactos e visando ainda uma maior eficiência energética, a produção de briquetes proveniente de biomassas. Grande parte dos briquetes atualmente produzida no Brasil é proveniente de resíduos de madeira, como cavacos, tocos, maravalhas, serragem e outros (DIAS et al., 2012).

Dado o exposto, o presente trabalho tem como objetivo pesquisar e demonstrar por meio de cálculos e tabelas e eficiência da queima de briquetes em fornos de pizzarias, bem como, comparar a eficiência da queima de briquetes em relação à queima de lenha convencional.

2. Procedimentos Metodológicos

2.1 Revisão de literatura

A procura por fontes renováveis de energia se intensificou durante a década de 1970, na qual ocorreu a primeira Conferência Internacional Sobre o Meio Ambiente sediada em Estocolmo, onde foi apresentada a carta da Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (UNEP), que buscava alertar os países sobre os impactos ambientais que vinham se intensificando com o avanço industrial, na carta foram enunciados vinte e três princípios que deveriam ser seguidos visando a preservação e a melhoria do ambiente humano. Dentre os vinte e três descritos pela UNEP (1972) destacam-se os seguintes:

Os recursos naturais da terra, incluídos o ar, a água, a flora e a fauna e, especialmente, parcelas representativas dos ecossistemas naturais, devem ser preservados em benefício das gerações atuais e futuras [...]. A capacidade da terra de produzir recursos renováveis vitais, deve ser mantida e, sempre que possível, restaurada e melhorada. Deve-se pôr fim a descarga de substâncias tóxicas e de outras matérias e a liberação de calor, em quantidades ou concentrações tais que não possam ser neutralizadas pelo meio ambiente, a fim de evitar danos graves e irreparáveis aos ecossistemas [...] (UNEP, 1972, p. 1, 2).

A partir desse momento com esforços para prevenção do meio ambiente mais intensos, as buscas por novas fontes de energia se tornaram ainda mais significativas. Dentre as principais, estavam as fontes geradoras de calor, as quais comumente liberavam diversas substâncias tóxicas no ar, o que tornava a sua substituição iminente. Foi diante dessa necessidade que surgiram os chamados briquetes.

Os briquetes são blocos de formato cilíndrico com diâmetros superiores a 50 mm, oriundos da compactação de diversos resíduos vegetais. Podem ser produzidos a partir de serragem e restos de serraria, casca de arroz, sabugo e palha de milho, palha e bagaço de cana-de-açúcar, casca de algodão, casca de café, soqueira de algodão, feno ou excesso de biomassa de gramíneas forrageiras, cascas de frutas, cascas e caroços de palmáceas, folhas e troncos das podas de árvores nas cidades, dentre outros (DIAS et al., 2012, p. 17).

Possuem um potencial de geração de calor maior do que os resíduos in natura e quanto maior sua densidade, maior sua produção de calor.

Pesquisas desenvolvidas na Universidade de Brasília, em 2008, apontam que o melhor e mais caro briquete feito no Brasil é produzido a partir da maravalha (serragem) oriunda da indústria moveleira de Santa Catarina e Paraná, usando *Pinus sp.* Tendo ele maior nível de energia e resistência mecânica e, mesmo com o preço acima dos demais, o produto tem mercado garantido pela sua eficiência. Pois, sua eficácia energética e a ausência de risco de danos ao material fazem sua relação custo/benefício ser mais alta que a do briquete de padrão inferior (FERNANDES, 2012).

Segundo DIAS et al. (2012), os ‘briquetes e pèletes são substitutos diretos da lenha em muitas aplicações, incluindo o uso residencial, em indústrias e estabelecimentos comerciais como olarias, cerâmicas, padarias, pizzarias, laticínios, fábricas de alimentos [...].

A armazenagem e o transporte desse produto devem ser extremamente cautelosos. Os locais de armazenagem devem seguir alguns requerimentos, tais quais livres de umidade e exposição solar, além de serem bem arejados. Para distâncias maiores que 150 km, o processo de transporte de briquetes se torna oneroso (BARROS, 2021) devido as condições climáticas das rodovias.



Figura 1: Comparação de armazenamento de 1 tonelada de lenha e briquetes. Fonte: Lippel [s.d.].

O briquete possui poder calorífico em torno de 1,8 vezes maior que o da lenha convencional, e segundo Oliveira et al. (2011), sua concentração energética é 252% maior se comparado a lenha, e 224% mais eficiente do que o carvão. O briquete se mostra economicamente viável levando em consideração que se obtém o mesmo resultado com uma quantidade bem menor de queima de combustível, que ocasiona uma redução significativa de resíduos após a utilização dos fornos para produzir a mesma quantidade de pizza se utilizada a lenha convencional.



Figura 2: Forno a lenha com combustão de briquetes. Fonte: Ecoenergia [s.d.].

2.2 Métodos e técnicas utilizados

Foram consideradas pizzarias de pequeno e médio porte, com fornos que assariam 3 pizzas de 45 cm de diâmetro por vez. A comparação de eficiência energética dos combustíveis seguirá medidas de controle específicas: fornos em temperatura ambiente, temperatura máxima atingida, tempo para obtenção de temperatura de 350 °C, consumo de combustível para obtenção de tal temperatura e fornos limpos livres de qualquer resíduo.

O cálculo de eficiência energética dos briquetes se deu por meio da utilização da equação de poder calorífico superior. NEIVA et al. (2018) definem que

O Poder Calorífico é definido como a quantidade de calor que é desprendido pela combustão completa do combustível. Se a medição é feita com os produtos de saída em fase gasosa, é denominado poder calorífico inferior e se for considerado a água dos produtos em fase líquida, com os produtos de combustão à temperatura ambiente, é denominado Poder Calorífico Superior (NEIVA et al, 2018).

A determinação do poder calorífico de determinado combustível é dado pela equação:

$$PC = \frac{K \cdot \Delta t}{V \cdot \rho} \quad (1)$$

sendo: PC = poder calorífico, K = capacidade térmica de absorção do calorímetro, Δt = variação da temperatura, ρ = peso específico do combustível.

Para esse cálculo é necessário um ensaio utilizando um calorímetro. USP (2019) define um calorímetro como um sistema fechado que não permite trocas de calor com o ambiente.

Em vista destes fatos, Nonnenmacher et al. (2011) afirmam que a lenha de eucalipto a umidade de 40% possui um poder calorífico médio de 2400 kcal/kg. Em contrapartida, Silva (2015) retrata que briquetes compostos de biomassas derivadas de Eucalyptus possuem poder calorífico de 4 679,7 kcal/kg, aproximadamente o dobro se comparado a lenha.

Segundo o pizzaiolo Mario Lucena, é gasto 5 metros cúbicos de lenha mensalmente em fornos com cúpulas de 1,5 metros de diâmetro. Realizando as comparações, tem-se que 5 metros cúbicos de lenha poderiam ser reduzidos a pouco mais de 2,5 metros cúbicos de briquete.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Tendo em vista os fatos tratados, evidencia-se que briquetes possuem um maior poder calorífico, e sendo assim mais facilidade para liberar energia e consequentemente maior rendimento em menor tempo. O consumo de briquetes é menor em relação ao consumo de lenha, devido ao alto poder calorífico e a umidade relativamente baixa. Segundo BARROS (2021) em um artigo publicado pela Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) o briquete de eucalipto equivale a 7 m cúbicos de lenha. O briquete é um produto fácil de ser armazenado, devido à compactidade.

Tratando de custo-benefício, o briquete é vendido por kg, e a lenha por metro cúbico, isso faz com que o briquete possua maior precisão de quantidade a ser comprada. Enquanto 1 m cúbico de lenha de eucalipto possui em torno de 400 a 600 kg, 1000 kg de briquete corresponde a 7 m cúbicos. O preço médio do metro cúbico da lenha de eucalipto em Santa Catarina é de 130,00 R\$ e o valor de 1000kg de briquete varia de 600,00R\$ à 800,00R\$. Todavia, o investimento inicial para produção de briquetes é alta, tendo em vista que briquetadeiras manuais e modestas custam em torno de 15,000R\$.

Tabela 1: Comparação custo benefício de lenha comum e briquetes.

Tipo da Madeira	Quantidade (kg)	Volume (m ³)	Custo	Observações
Lenha comum	500 kg	1 m ³	130,00 R\$	Necessita maior espaço de armazenamento
Briquetes	500 kg	3.5 m ³	350,00R\$	Necessita menor espaço de armazenamento

Fonte: Autores (2023).

Considerando as informações dispostas anteriormente, uma pizzaria que queima 5 metros cúbicos de lenha mensalmente, gasta 650,00 R\$ para compra da lenha. Enquanto essa mesma pizzaria gastaria em torno de 250,00 R\$ a 300,00 R\$ em briquetes para o mesmo gasto mensal com combustível.

Consumando as informações dispostas neste presente artigo, evidencia-se que para estabelecimentos de pequeno e médio porte, briquetes possuem uma relação custo-benefício indubitavelmente maior em relação a madeira bruta, necessitam de espaço de estocagem menor e produzem menos sujeira. É ideal para fornos a lenha de pizzarias e padarias. Ademais, a aplicação é economicamente viável e traria consigo uma boa visibilidade para os estabelecimentos da região, por não ser uma prática local muito comum.

CONCLUSÃO

Ante ao exposto conclui-se que briquetes são superiores economicamente a lenha convencional, além de necessitarem de condições facilitadas para estocagem. Auxiliam na preservação do meio ambiente por meio de sua produção sustentável e de sua queima limpa, que não gera resíduos tóxicos para a atmosfera.

Os briquetes de eucalipto possuem um poder calorífico de aproximadamente 4600 kcal/kg, pouco menos que o dobro da lenha de eucalipto que possui 2400 kcal/kg a umidade de 40%. Sendo assim, para cada 1 metro de lenha consumido seria queimado pouco mais de meio metro de briquete. Para fornos que diferem das medidas especificadas anteriormente ou para outros

Entretanto, um viés a respeito da substituição de lenha por briquete é a tradição. Para donos de estabelecimentos que utilizam forno a lenha para preparo de alimentos e estão integrados ao assunto de que briquetes naturais não utilizam aditivos químicos a troca de combustível é benéfica, contudo, para leigos, que formam a maioria dos consumidores desses produtos o briquete pode ser algo maléfico a saúde. Consequentemente, o

estabelecimento deverá engajar seus clientes em relação a segurança e as vantagens do uso de briquetes.

REFERÊNCIAS

BARBOSA, Kelvin Techera et al. **USO ENERGÉTICO DA MADEIRA, BRIQUETE E PELLETES**. 2019. Disponível em: <https://www.ibeas.org.br/conresol/conresol2019/I-094.pdf>. Acesso em: 22 fev. 2023.

BARROS, Talita Delgrossi. **Resíduos**. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/agroenergia/florestal/lenha/residuos>. Acesso em: 23 fev. 2023.

DIAS, José Manuel Cabral de Sousa et al. **Produção de briquetes e péletes a partir de resíduos agrícolas, agroindustriais e florestais**. 2012. Disponível em: <https://ainfo.cnpia.embrapa.br/digital/bitstream/item/78690/1/DOC-13.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2023.

ECOENERGIA. **Lenha ecológica**. Disponível em: <https://ee.ind.br/v2/phone/lenha-eco%C3%B3gica.html>. Acesso em: 22 fev. 2023.

FERNANDES, Carolina Rovira Pereira et al. **PRODUÇÃO DE BRIQUETE INDUSTRIAL: ENERGIA LIMPA E SUSTENTÁVEL**. 2012. Disponível em: <https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2012/X-007.pdf>. Acesso em: 21 fev. 2023.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. *World energy outlook 2011*. Paris, 2011.

LIPPEL. **Briquetes de Biomassa e Carvão**. Disponível em: <https://www.lippel.com.br/artigos-academicos/briquetes-de-biomassa-e-carvao/>. Acesso em: 22 fev. 2023.

NONNENMACHER, Helio et al. **ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO TEOR DE UMIDADE NO PODER CALORÍFICO EM COMBUSTÍVEL SÓLIDO PARA GERAÇÃO DE VAPOR D'ÁGUA**. 2011. Disponível em: https://online.unisc.br/acadnet/anais/index.php/salao_ensino_extensao/article/view/5182. Acesso em: 20 fev. 2023.

OLIVEIRA, Ana Katia de et al. **Tecnologia em silvicultura: estudo do poder calorífico do briquete**. Estudo do Poder Calorífico do Briquete. 2011. Disponível em: <https://www.doccity.com/pt/poder-calorifico-do-briguete/4818584/>. Acesso em: 24 fev. 2023.

P. S. NEIVA et al. **CAPACIDADE TÉRMICA E PODER CALORÍFICO DE BIOMASSA EUCALIPTO**. 2018. Disponível em: <https://repositorio.uniube.br/bitstream/123456789/922/1/CAPACIDADE%20T%C3%89RMICA%20E%20PODER%20CALORIFICO%20DE%20BIOMASSA%20EUCALIPTO.pdf>. Acesso em: 24 fev. 2023.

SILVA, Jose Wilton Fonseca da et al. **DA BIOMASSA RESIDUAL AO BRIQUETE: VIABILIDADE TÉCNICA PARA PRODUÇÃO DE BRIQUETES NA MICRORREGIÃO DE DOURADOS-MS**. 2017. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/rber/article/view/46401>. Acesso em: 24 fev. 2023.

UNEP. **Declaração de Estocolmo: declaração sobre o ambiente humano**. Declaração sobre o ambiente humano. 1972. Publicada por IPHAN. Disponível em: <http://portal.iphan.gov.br/uploads/ckfinder/arquivos/Declaracao%20de%20Estocolmo%201972.pdf>. Acesso em: 24 fev. 2023.

USP. **CALORIMETRIA: medida da capacidade térmica do calorímetro**. Medida da capacidade térmica do calorímetro. 2019. Disponível em: <https://sites.usp.br/cdcc/wp-content/uploads/sites/512/2019/07/MEDIDA-CAPACIDADE-T%C3%89RMICA.pdf>. Acesso em: 21 fev. 2023.

LUCENA, Mauro. **Quanto é o gasto mensal de lenha em uma pizzaria?** 2014. Disponível em: <https://www.forumdepizzas.net/t10234-quanto-e-o-consumo-de-lenha-mensal-em-uma-pizzaria>. Acesso em: 23 fev. 2023.