

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

BRIQUETAGEM DE CAVACO: IMPLEMENTAÇÃO DE PROJETO E ANÁLISE ECONÔMICA,
ORGANIZACIONAL E AMBIENTAL

Por

Humberto Glaeser Mattioda

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Mecânica da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Engenheiro Mecânico.

Porto Alegre, Dezembro de 2018



Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Escola de Engenharia
Departamento de Engenharia Mecânica

BRIQUETAGEM DE CAVACO: IMPLEMENTAÇÃO DE PROJETO E ANÁLISE ECONÔMICA,
ORGANIZACIONAL E AMBIENTAL

por

Humberto Glaeser Mattioda

ESTA MONOGRAFIA FOI JULGADA ADEQUADA COMO PARTE DOS
REQUISITOS PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
ENGENHEIRO MECÂNICO
APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELA BANCA EXAMINADORA DO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Prof. Thamy Cristina Hayashi
Coordenador do Curso de Engenharia Mecânica

Área de Concentração: Projeto e Fabricação

Orientador: Prof. Heraldo José de Amorim

Comissão de Avaliação:

Prof. Heraldo José de Amorim

Prof. Darci Barnech Campani

Prof. Patric Daniel Neis

Porto Alegre, 05, Dezembro de 2018.

MATTIODA, H. G. **Briquetagem de Cavaco: Implementação de Projeto e Análise Econômica, Organizacional e Ambiental**. 2018. 13 Folhas. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

RESUMO

Processos de usinagem estão entre os processos de fabricação mais utilizados pela indústria metal-mecânica. Apesar de suas vantagens em relação aos demais processos de fabricação, a usinagem produz inevitavelmente resíduos, sendo o cavaco e o fluido de corte seus principais subprodutos. O cavaco apresenta problemas relacionados ao seu grande volume para armazenamento e ao seu baixo valor comercial. Além disso, o uso de fluido de corte torna necessário cuidados especiais tanto para a gestão do cavaco contaminado pelo fluido quanto para o descarte do próprio fluido, pois são classificados como materiais perigosos para o meio ambiente e tóxicos para o ser humano. Uma possível solução para os problemas associados ao cavaco e ao fluido de corte é o processo chamado de briquetagem. A briquetagem de cavaco consiste na compactação do material metálico em blocos densos ($5,3 \text{ g/cm}^3$), com conseqüente extração do fluido de corte para posterior reutilização. Compactando o metal, ele se transforma de sucata de baixa qualidade em sucata de alta qualidade, podendo ser vendido a valores até 50% mais altos. O fluido de corte, que representa 16% no custo da operação de usinagem, é extraído, filtrado e reutilizado nas máquinas operatrizes. Como benefícios adicionais, tem-se a redução do espaço físico ocupado pelo cavaco e a redução dos gastos com transporte e movimentação do cavaco. Buscando a redução e o beneficiamento dos resíduos gerados estuda-se, neste trabalho, as conseqüências da briquetagem de cavaco para a operação de uma fábrica metal-mecânica. Através do contato com compradores de sucata, fabricantes de máquinas briquetadeiras e colaboradores da fábrica analisada, obteve-se o cenário Sul-Riograndense de sucata. As modificações organizacionais provocadas pela adoção da briquetagem também foram avaliadas em termos de número de pessoas envolvidas, equipamentos necessários e horas anuais, assim como preços de sucata, custo do fluido de corte, consumo energético e custos de instalação da briquetadeira. Concluiu-se que a briquetagem de cavaco, para o cenário analisado, é extremamente vantajosa, proporcionando um ganho de faturamento de 90% na venda da sucata aliado a uma economia de fluido de corte e ganhos ambientais. Em contrapartida, este ganho exigirá um aumento de 5% nas horas envolvidas na operação dos resíduos. Projetou-se que o retorno do investimento ocorrerá em 11 meses.

PALAVRAS-CHAVE: Briquetagem de cavaco, implementação de projeto, análise

MATTIODA, H. G. **Metal Chip Briquetting: Project Implementation and Economic, Organizational and Environmental Analysis**. 2018. 13 Folhas. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018

ABSTRACT

Machining processes are among the most popular manufacturing process in the metal-mechanic industry. These processes have many advantages when compared with other manufacturing processes; however, the waste generated by these processes must be considered. The main by-products of machining are metal chips and cutting fluids. Metal chip handling is important due to the high volume occupied by the chips compared to the raw material, which requires more handling operations, and to its low commercial value. Besides this concerns, using cutting fluids in the machining process demands special care to both chip handling and cutting fluid disposal, since they are hazardous waste. A feasible solution to the chip and cutting fluid problem is the briquetting process, which consists of compacting the cutting-fluid impregnated chips in dense briquettes (5.3 g/cm^3), extracting the cutting fluid for reuse or disposal. Through this process, metal chips are transformed from a low-quality scrap to a high-quality scrap, that can be sold with a higher price. The cutting fluids, which can be responsible for 16% of the manufacturing costs, is extracted, filtered and reused by the machining centers. The briquetting process provides other benefits like the reduction of the physical space occupied by the chips and all handling costs associated. Aiming the volume reduction and the quality improve of the by-products, this work studies the feasibility of the implementation of metal chip briquetting to the operation of a factory plant. The south Brazilian scrap metal scenario and the impact of the adoption of briquetting were studied through consulting scrap metal buyers, briquetting machine manufacturers, and factory workers. The organizational modifications related to the adoption of briquetting process were evaluated in terms of the number of workers enrolled, necessary equipment and hours needed to complete the activities related to scrap disposal. Scrap metal prices, cutting fluid costs, briquetting machine costs and energy consumption were also evaluated. To the analyzed scenario, metal chip briquetting is an extremely advantageous process, providing an increase of 90% in revenues from metal scrap sales and reducing cutting fluid consumption. Also, this process is environmentally friendly. On the other hand, the hours related to by-product duties are estimated to increase around 5%. The return on investment was estimated in 11 months.

KEYWORDS: Metal chip briquetting, project implementation, analysis

INDICE

	Pág.
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS.....	2
2.1 Objetivos Gerais.....	2
2.2 Objetivos específicos:.....	2
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E ESTADO DA ARTE.....	2
3.1 Resíduos industriais da usinagem.....	2
3.2 Briquetagem.....	3
4. METODOLOGIA.....	5
4.1 Fluxo de cavaco e layout da operação.....	6
4.2 Viabilidade econômica e impacto ambiental.....	7
5. RESULTADO E DISCUSSÃO.....	8
5.1 Seleção da máquina.....	8
5.2 Operação.....	9
5.3 Viabilidade econômica.....	10
5.4 Impacto ambiental.....	11
6. CONCLUSÃO.....	12
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	12

1. INTRODUÇÃO

A usinagem é reconhecida como o processo de fabricação mais popular do mundo, transformando algo em torno de 10% de toda a produção de metais e empregando milhões de pessoas (TRENT, 1985). Por definição, a usinagem produz resíduos: o cavaco e o fluido de corte contaminado. As companhias adotam diferentes soluções para lidar com estes resíduos, mas, de uma maneira generalizada, reutilizam o fluido de corte e vendem o cavaco, contaminado com o restante do fluido de corte, como sucata de baixa qualidade.

Com o aumento da rigidez das leis e das normas técnicas nos últimos anos, obteve-se grande avanço na política de sustentabilidade e de redução de resíduos, entretanto há amplo espaço para otimizações e inovações na gestão e valorização de tais resíduos. Interpretando-os como produtos valiosos, que podem gerar receita para quem os fabrica, aumenta-se o interesse pelos resíduos e aproxima-se de uma cultura de excelência em sustentabilidade.

A técnica de briquetagem de cavaco apresenta-se como otimização dos processos já existentes pois possibilita a separação eficiente do fluido de corte do cavaco (98% de reaproveitamento) e permite a venda do cavaco como sucata de primeira qualidade, aumentando o faturamento e a sustentabilidade da operação (TECNOBRIQ, 2012). O reaproveitamento do fluido de corte é relevante pois, segundo Kopac (1988), o consumo do fluido de corte equivale a 16% do custo de usinagem e, segundo a Tecnobriq (2012), o valor da sucata vendida após o processo de briquetagem pode dobrar de valor. No aspecto ambiental, segundo Kuroda (2006), a fundição do cavaco contendo fluido de corte gera fumos prejudiciais ao meio ambiente e, no aspecto metalúrgico, Grayson (2017) alega que uma unidade de fluido de corte presente na fusão de metais gera duas unidades de escória. A logística do material é também beneficiada pela redução significativa do volume ocupado pelo cavaco após a briquetagem.

De acordo com a World Business Council for Sustainable Development (WBCSD, 2006), a prática da briquetagem de cavaco vai ao encontro de uma indústria mais sustentável e ecoeficiente, pois (a) reduz o consumo de recursos através da reutilização do fluido de corte; (b) reduz o impacto na natureza pela não queima do fluido de corte; (c) aumenta o valor do produto pela compactação e aumento na eficiência de reciclagem. A ecoeficiência, segundo Carvalho e Gomes (2008), auxilia as empresas a promoverem mais serviços, benefícios e valor, colaborando para reduzir a poluição ambiental e gerar produtos com maior valor agregado, tudo isso reduzindo o consumo de energia e desperdício.

Almejando a otimização dos processos e a diminuição dos resíduos industriais, em concordância com a prática do *lean manufacturing* e com a sustentabilidade, será estudada a briquetagem como opção para valorizar a sucata, reduzir a quantidade de fluido de corte descartado e simplificar o transporte dos resíduos.

Sabe-se que para a implementação de um projeto por uma organização, é necessário que haja informações sobre as consequências do projeto. O trabalho a seguir busca explicitar e analisar os aspectos que serão modificados (economicamente e organizacionalmente) pela implementação da briquetagem de cavaco em uma fábrica metal-mecânica que possui diversas centrais de usinagem e produz 2100 toneladas de cavacos por ano. Espera-se que pelos estudos realizados sobre a adoção da briquetagem de cavaco, empresas interessadas possam adaptar este trabalho para a suas características fabris e obter uma análise aproximada das consequências da implementação deste processo.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O objetivo do trabalho é realizar um estudo de viabilidade econômica, organizacional e ambiental da implementação da briquetagem de cavaco em uma indústria metal mecânica do Rio Grande do Sul.

2.2 Objetivos específicos:

Os objetivos específicos do trabalho são:

- Estudar as consequências da implementação do processo de briquetagem de cavaco na fábrica
- Explicitar os benefícios da briquetagem de cavaco
- Explicitar valores atuais de venda de cavaco e valor de máquinas briquetadeiras

Os dados explicitados nesta monografia visam incentivar o estudo da briquetagem de cavaco em outras fábricas. Se viável, incluirão a briquetagem de cavaco no seu processo produtivo e melhorarão o cenário de sustentabilidade do Brasil. A Figura 1 apresenta diferentes tipos de briquetes.



Figura 1: Exemplos de briquetes metálicos (Fonte: Tecnobriq, 2012).

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E ESTADO DA ARTE

3.1 Resíduos industriais da usinagem

Processos de fabricação por usinagem geram cavaco e fluido de corte como resíduos. Por cavaco entende-se parte metálica expelida pelo processo de usinagem. Fluido de corte, segundo Runge (1989), é definido como qualquer fluido para corte ou usinagem de metais ou outros materiais.

Fluidos de corte são compostos basicamente por óleos graxos, minerais e sintéticos e água, além de aditivos à base de cloro, enxofre, nitrito de sódio e fósforo com seus empregos específicos a cada tipo de operação (MOTTA E MACHADO 1995; BARADIE, 1996). Fluidos de corte podem ser classificados em duas classes: integrais (óleo puro sem adição de água) e solúveis. Apesar dos benefícios de sua utilização, fluidos de corte podem causar danos ambientais graves se descartados incorretamente, uma vez que um litro de óleo é capaz de poluir 20.000 litros de água (SABESP, 2007). Estes compostos dificultam a reaeração da água, pois geram uma fina camada que impede a passagem da luz solar, afetando negativamente a fotossíntese de algas e matando peixes e outros organismos por asfixia (CETESB, 1979). Danos à saúde dos trabalhadores em atividades contendo fluidos de corte são motivos de preocupação para organizações e empresas. Kun li (2015) relata a incidência acima da média de câncer de intestino, de pulmão e de pele em trabalhadores americanos expostos a longos períodos em contato com fluidos de corte. A autora atenta a danos menos severos como dermatites e inflamações que podem evoluir para queratose caso não sejam tomadas medidas preventivas. Os elementos tóxicos presentes nos fluidos de corte são variados: hidrocarboneto policíclico aromático, compostos N-nitrosos e abrasivos (EISEN ET AL., 1992)

Os métodos de descarte do fluido de corte variam de acordo com a toxicidade e o volume produzido. Classificam-se os métodos em: descarga direta, depósito em aterros sanitários, tratamento físico-químico, incineração, regeneração (DANDOLINI, 2001). É de responsabilidade da empresa que utiliza os fluidos de corte proporcionar o correto descarte dos resíduos: “todo óleo lubrificante usado ou contaminado será, obrigatoriamente, recolhido e terá uma destinação adequada, de forma a não afetar negativamente o meio ambiente” (Resolução número 9/93, CONAMA). No Brasil, não existe levantamento da quantidade de fluido de corte utilizado na indústria (KLOCKE E SCHNEIDER, 1998, apud QUEIROZ, 2001), conseqüentemente, não existem dados que verifiquem a disposição final do fluido, o seu correto transporte e os planos de emergência em caso de acidentes ou derrame do produto. Em 1998, Klocke e Schneider (apud Queiroz) alegaram que o transporte e a disposição do cavaco e do fluido de corte não respeitam as normas da legislação brasileira, podendo haver contaminação do meio ambiente e risco à segurança do trabalhador.

Os cavacos gerados são normalmente vendidos a empresas que realizam a fusão destes resíduos e posterior venda em forma de metal puro. Entretanto, pelo cavaco estar contaminado com fluido de corte e não compactado, ele é considerado uma sucata de baixa qualidade, baixo valor. Segundo a NBR 11175 (1990), o processo de incineração do fluido de corte (por ser fundido juntamente com o cavaco) deve atender aspectos de controle de emissões. Esse controle restringe, legalmente, a venda de sucata a determinadas empresas capacitadas para fusão de sucatas contaminadas.

Segundo o Decreto n°. 96.044 de 18/05/88, que regula o transporte rodoviário de produtos perigosos, são necessárias medidas específicas para transportar cargas que impactem o meio ambiente. Em concordância com a Lei, o transporte de cavaco briquetado (sem fluido de corte) se caracteriza como transporte de produto não perigoso, submetido a menor rigidez que o transporte de cavaco sujo com fluido de corte. (Resolução número 293, CONATRAM)

3.2 Briquetagem

Briquetagem é o termo utilizado para definir a aplicação de pressão para moldar grânulos ou particulados de algum material em formas geométricas, reduzindo o volume ocupado pela matéria e concebendo características diferenciadas (BROZEK E NOVAKOVA, 2010). A briquetagem é extensamente utilizada para matérias orgânicas como serragem, feno, e biomassa. A Figura 2, apresenta exemplos de briquetes de diferentes materiais.

Como característica comum aos processos apresentados, a briquetagem agrega função e, conseqüentemente, valor a resíduos que, sem a compactação, não teriam finalidade econômica. Pode-se utilizar como exemplo a compactação da serragem proveniente de atividades envolvendo madeira. Após a compactação da serragem em briquetes, ela é vendida como combustível com capacidade calorífica de 5,90 kJ/g, o que equivale a aproximadamente 70% da capacidade do carvão mineral (MCDUGAL, 2010). Aumenta-se, também, a facilidade de estocagem e transporte do material e, no caso do cavaco, é reduzido o risco associado a sua manipulação.



Figura 2: Exemplos de briquetes de alumínio, papel, poeira e serragem, da esquerda para direita. (Fonte: <http://www.maedev.com>, 2018).

A primeira briquetadeira, ilustrada na Figura 3, foi idealizada e patenteada por Zwoyer, E. B. A. (United States Patent Office, 1903) para melhorar a eficiência térmica da combustão de carvão. A briquetagem foi posteriormente popularizada por uma parceria entre Henry Ford, Thomas Edison e EB Kingsford, em 1919, que utilizavam serragem e restos de madeira produzido pela linha de montagem de veículos para fabricar briquetes de carvão (SLATER, 2016).

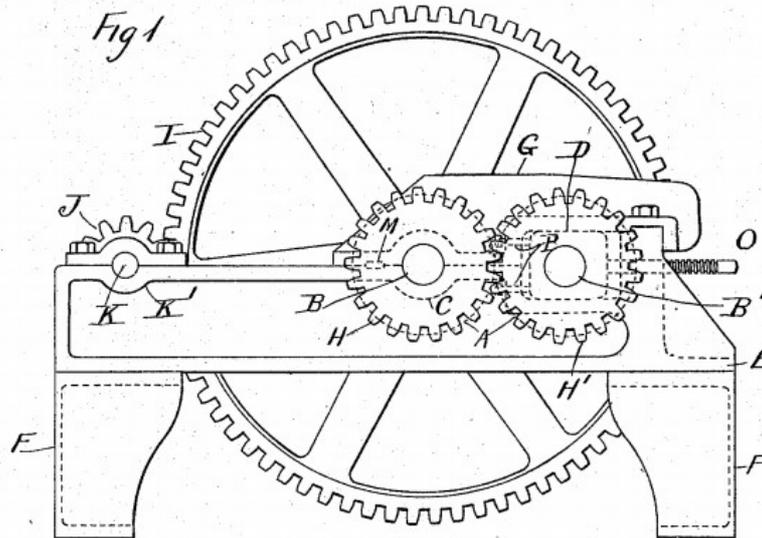


Figura 3: Ilustração da briquetadeira patenteada em 1902 (Ellisworth, USA Patent Office, 1903).

Atualmente, a tecnologia e o estado da arte da briquetagem evoluíram bastante. Para a compactação em grandes volumes de briquetes utilizam-se prensas contínuas pela redução na proporção entre energia por briquete, pelo aumento na produtividade e pela boa compactação da matéria (DRZYMAJA, 1993).

Há extensa literatura sobre aspectos técnicos da briquetagem, onde são estudados a velocidade ideal de compactação (PENICHEV, 2014), simulações da forma geométrica ideal (GYOSHEV, 2016) e ligantes utilizados (BOROWSKI, 2004). Na base de dados da editora *Elsevier, ScienceDirect®*, o número de artigos publicados anualmente relacionados à briquetagem cresceu 25% entre 2006 e 2018.

Encontra-se facilmente diversos fabricantes de briquetadeiras de origem nacional e internacional. A tendência para o mercado da briquetagem é próspero pela facilidade de implementação da prática, pela simplicidade técnica e pela versatilidade da produção de briquetes. Os produtores de resíduos orgânicos utilizam a briquetagem para uma gama diversa de funções e benefícios.

Abaixo dois exemplos de sinergias criada entre produtores de resíduos orgânicos e briquetagem, contemplando aspectos econômicos, ambientais e sociais.

Em Burkina Faso, um dos maiores produtores de castanha de caju do mundo, a briquetagem será implementada para utilizar a casca da castanha como fonte energética (SAWADOGO, 2018). O briquete terá um poder calorífico igual ao do carvão vegetal, amenizando os problemas energéticos da região, e reduzirá a emissão de gases nocivos ao homem, atualmente gerados pela queima do óleo da fruta presente na casca. Utilizando a briquetagem, o óleo presente na casca será extraído da massa que será queimada, evitando a geração de fumos e aumentando a eficiência energética.

No Canadá estuda-se uma cadeia de suprimentos integrada entre os restos orgânicos gerados pela agricultura e a demanda por lenha/carvão (KENNET, 2014). Atualmente, o rejeito orgânico produzido pela agricultura é vendido em estado natural para grandes indústrias produtoras de energia da região. Paralelamente, os agricultores rurais compram carvão e lenha para consumo em fogões e aquecimento doméstico. Produzindo briquetes de palha (rejeitos da agricultura) e vendendo para o consumo doméstico local, pretende-se reduzir em 18% o custo atual do fluxo de rejeitos orgânicos. Cenário que viabiliza o comércio local de briquetes e extingue distâncias de 350 km entre agricultores e usinas termoelétricas (KENNET, 2014).

A briquetagem de cavaco metálico proveniente da usinagem apresenta um segundo benefício relacionado à compactação do material em si, que é separar de forma eficiente o fluido de corte do cavaco metálico gerado. Fabricantes de briquetadeiras alegam que é possível extrair e reutilizar 98% do fluido de corte utilizado nos processos de usinagem. Tal fenômeno tem grande relevância nos processos industriais, pois estima-se que 16% dos custos de usinagem estão relacionados aos fluidos de corte (KOPAC, 1998)

Artigos atentam, também, aos benefícios da compactação do cavaco para a eficiência dos sistemas de fusão. Ao compactar o cavaco, reduz-se a superfície de contato das partes metálicas com o ambiente, reduzindo a oxidação dos metais. A quantidade de óxidos no forno de fusão está diretamente ligada à produção de escória e ao maior ataque ao material refratário do forno, fenômenos não desejados. Blocos maciços de cavaco são fundidos mais rapidamente em fornos elétricos a arco pela melhor condução elétrica que proporcionam. (TECNOBRIQ, 2018).

4. METODOLOGIA

A metodologia empregada nesse artigo utiliza informações primárias e secundárias obtidas de fornecedores e consumidores de sucata do Sul do Brasil, de medições realizadas pelo autor, do layout adotado em uma indústria metal-mecânica e de documentos relacionados à briquetagem. A viabilidade econômica leva em consideração o aumento do preço de venda do cavaco, o aumento da quantidade de fluido de corte extraído da sucata, a redução no volume de armazenamento, o número de transportes entre produtor e reciclador e a quantidade de horas dedicadas à gestão do cavaco. A viabilidade funcional aborda aspectos organizacionais como número de pessoas envolvidas, complexidade e robustez do processo.

Os dados comparativos foram obtidos por análises da implementação teórica do processo de briquetagem e suas consequências, respeitando as limitações práticas aceitas pela instituição, e tomando essas limitações como padrão às outras empresas do ramo.

4.1 Fluxo de cavaco e layout da operação

Na área da fábrica dedicada à usinagem existem centrais de usinagem que direcionam o cavaco recém gerado para caçambas anexas (caçambas provisórias). Nestas caçambas ocorre a separação do fluido por decantação. O fundo das caçambas permite que o fluido de corte escoe e retorne ao sistema de filtragem e alimentação da respectiva centro de usinagem.

O período de permanência das caçambas no local é de, em média, 7 horas, entretanto, é conveniente atentar que os últimos cavacos a serem despejados são submetidos a poucos minutos de decantação. Após esse período, os cavacos são movimentados para o local final de armazenamento para posterior venda, sem mais processos de separação de fluidos.

Para coletar e movimentar o cavaco ao local final de armazenamento são necessárias colaboradores, equipamentos e, obviamente tempo. Este processo de manipulação do cavaco é repetido 3 vezes ao dia. A área de armazenamento possui capacidade para estocar um volume de cavaco correspondente a 3 dias de produção. No final desse período, um caminhão coleta os cavacos e os leva para a companhia que o comprou. A Figura 4 apresenta o fluxo de cavaco atual.

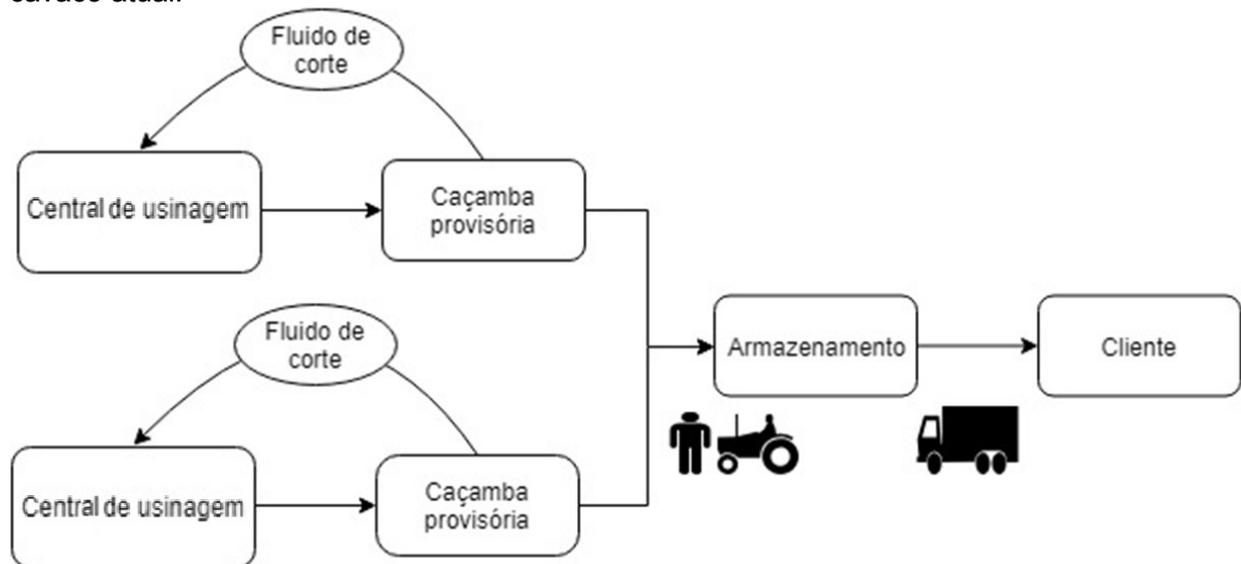


Figura 4: Ilustração do fluxo de cavaco no processo atual da empresa analisada.

Algumas vantagens da adoção do processo de briquetagem de cavaco são a redução do volume de sucata (pela compactação e conseqüente redução no número de fretes necessários) e o fato desse processo ser um segundo processo de extração do fluido de corte. A carga horária total dedicada ao cavaco será alterada pela adição do trajeto de movimentação do fluido de corte recuperado para as centrais de usinagem. Estima-se uma alteração não significativa, pois o deslocamento dos cavacos ao local destinado à briquetadeira, que possui uma frequência e demanda de tempo maior, ainda deverá ser realizado. Após a briquetagem, o cavaco será movimentado por esteiras às caçambas de armazenamento, não demandando dedicação de um colaborador. A Figura 5 apresenta o fluxo de cavaco após implementação da briquetagem.

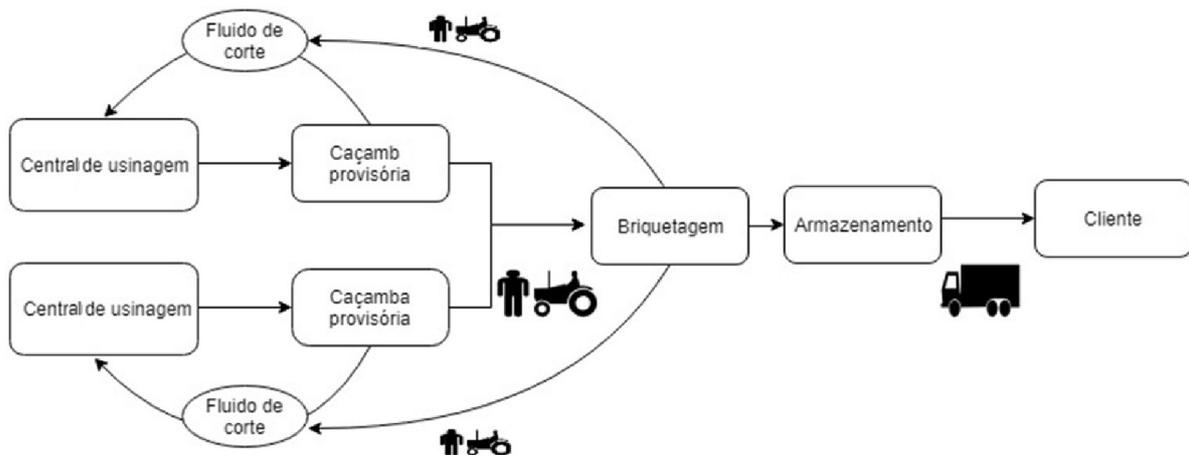


Figura 5: Ilustração do fluxo de cavaco da proposta de implementação da briquetagem de cavaco na empresa analisada.

Realizou-se tomadas de tempo e acompanhamentos de atividades para quantificar os valores atuais e os valores estimados após a proposta de implementação. Conversas e discussões com colaboradores responsáveis pela usinagem foram realizadas para bem compreender as dinâmicas das atividades e as consequências da briquetagem para tais atividades.

4.2 Viabilidade econômica e impacto ambiental

Através de contatos realizados com 5 empresas compradoras de sucata metálica, valores aproximados para sucata ferrosa de baixa qualidade e para sucatas de alta qualidade foram obtidos. Mantendo a coerência e fidelidade das informações, utilizou-se a média das cotações obtidas para ambos tipos de sucata.

O preço do fluido de corte no estudo foi obtido tendo como base o valor praticado pela empresa multiplicado por um fator de correção, prática necessária para que não se explicita o acordo comercial entre as partes. O fator de correção, para não impactar o estudo econômico, foi menor que 1, adotando uma estratégia conservadora e “desvalorizando” os benefícios da coleta do fluido de corte.

As informações sobre preço, consumo de energia, manutenção e desempenho das briquetadeiras foram obtidas por cotações, catálogos e conversas com diferentes fabricantes destes equipamentos. Os dados utilizados no estudo são da empresa que melhor se adequou aos critérios de preço, qualidade e suporte. O modelo das máquinas briquetadeiras foi determinado pelo volume de produção necessário para briquetar 110% do cavaco gerado, quantidade suficiente para atender aos picos de produção e compensar possíveis atrasos na briquetagem de cavaco.

A viabilidade econômica foi analisada tendo como métrica o retorno sobre investimento. O ganho financeiro foi calculado pela diferença entre o faturamento da venda de cavaco não briquetado e o faturamento da venda de cavaco briquetado. O faturamento anual gerado pela venda do cavaco (briquetado e não briquetado) foi subtraído das despesas com funcionários, manutenção, transporte e compra de fluido de corte. Não realizou-se estimativas do fluxo de caixa mensal e os valores futuros não foram convertidos a valor presente líquido pois o estudo é de curto prazo e com poucas variações nas receitas mensais (venda do cavaco produzido).

O impacto ambiental da briquetagem de cavaco foi estimado pelo volume de fluido de corte que pode ser recuperado, de acordo com fabricantes das máquinas briquetadeiras. Sabendo a quantidade de fluido de corte utilizado e o volume de cavaco produzido anualmente, pode-se estimar a umidade do cavaco gerado atualmente (não briquetado) e comparar com a

umidade estimada pelos fabricantes de briquetadeiras. Ter-se-á, conseqüentemente, a redução no volume de fluido de corte que seria incinerado adotando a briquetagem de cavaco.

5. RESULTADO E DISCUSSÃO

5.1 Seleção da máquina

A briquetadeira foi dimensionada para atender o volume da fábrica tendo 10% de sobrecapacidade. A Tabela 1 apresenta as características da fábrica, a demanda por manutenção média de máquinas briquetadeiras e a capacidade desejada de produção de briquetes.

Tabela 1: Dados utilizados para dimensionar a máquina

Horas diárias de funcionamento	8
Dias úteis em um ano	240
Horas de manutenção anual	35
Massa de cavaco anual (ton)	2310
Capacidade da máquina	1,22 ton/h

O funcionamento de maneira autônoma, sem a necessidade do operador acompanhar e participar da produção de briquetes é fundamental para a organização da empresa e eficiência do projeto. Participaram das cotações apenas fabricantes que pudessem certificar o nível de automação desejado, que envolve a coleta do cavaco na caçamba, a compactação do material, direcionamento à caçamba de armazenamento e armazenamento do fluido de corte extraído. Atentou-se, também, a normas de segurança padrão NR 10 (2016) e 12 (2018) e padrões de qualidade NBR ISO 9001:2015 que, por diretriz da empresa, são imprescindíveis. A Figura 6 apresenta especificações técnicas de uma máquina briquetadeira avaliada.

Dados Técnicos:	
Força máxima de compactação	200 toneladas
Processo de compactação	Somente em uma face do Briquete
Diâmetro do ferramental de prensagem (Ø briquete)	82 mm
Pressão específica de compactação (na face do briquete)	3512 kgf/mm ²
Potência total instalada	54,6 CV (40,4 kW)
Tamanho do equipamento	4,0 x 2,2 x 1,8 m (C x L x A)
Volume do tanque de óleo hidráulico	800 litros
Peso do equipamento completo (sem óleo)	6500 kg
Nível de ruído em operação	85 dB(A)
Tensão de comando geral dos componentes	24 Vcc (NR-10)
Tensão de potência da alimentação trifásica	<input type="checkbox"/> 220 Vca <input checked="" type="checkbox"/> 380 Vca <input type="checkbox"/> 440 Vca



Figura 6: Especificações de uma briquetadeira. (Fonte: Catálogo Tecnobriq, 2018).

5.2 Operação

Do ponto de vista operacional, ou seja, considerando as horas, pessoas e recursos necessários para que ambos processos ocorram, há pouca diferença entre o estado atual e a implementação da briquetagem de cavaco. A modificação do processo acontece pois é necessária uma etapa adicional para acondicionamento e preparo do fluido de corte após a recuperação do mesmo pela briquetadora.

A tabela 2 apresenta os valores aferidos (estado atual) e estimados (estado futuro) dos processos.

Tabela 2: Diferença operacional entre projetos

	Atual	Adotando a briquetagem
Pessoas envolvidas movimentação do cavaco	2	2
Horas dedicadas à movimentação cavaco	1,5	1,5
Frequência diária da movimentação	3	3
Percurso movimentação cavaco (km)	1,8	1,8
Pessoas envolvidas movimentação do fluido de corte recuperado	-	1
Horas dedicadas à movimentação fluido	-	1,5
Frequência diária da movimentação do fluido	-	0,33
Percurso movimentação fluido (km)	-	2,5
Equipamento	1 empilhadeira	1 empilhadeira
Total de horas anuais	2160	2279
Total de pessoas envolvidas	2	2
Total de Equipamentos	1 empilhadeira	1 empilhadeira

Percebe-se que a variação de carga horária é de, aproximadamente, 5% e não há necessidade de outra empilhadeira, pois a movimentação do fluido de corte recuperado ocorre posteriormente à movimentação dos cavacos até a briquetadeira.

5.3 Viabilidade econômica

Abordando os aspectos econômicos, a Tabela 3 explicita as receitas e despesas geradas pela situação atual e pela implementação da briquetagem de cavaco. Visando preservar dados confidenciais das empresas envolvidas, todos os valores são apresentados em Unidade Monetária (U.M.), correspondente do produto dos valores reais, em BRL, por uma constante maior que zero e menor que um. Dessa forma, as proporções entre valores se mantém independente do momento em que a análise econômica foi realizada, respeitando, ainda, a privacidade das empresas envolvidas.

Percebe-se que a diferença entre a receita atual e a receita após implementação da briquetagem de cavaco é, aproximadamente, U.M. 880.000,00. Um aumento de 90% na receita da venda de cavaco. É conveniente observar que 90% desse aumento da receita é devido à valorização da sucata. Os 10% restantes são consequências da recuperação do fluido de corte e da melhora na logística.

Tabela 3: Diferença de receita entre projetos

	Atual	Adotando a Briquetagem
Massa de cavaco produzido (ton/ano)	2100	2100
Preço de venda do cavaco (U.M./ton)	550,00	980,00
Subtotal	1.155.000,00	2.058.000,00
Volume do fluido recuperado (l/ano)	-	3000
Preço do fluido recuperado (U.M./l)	-	17,00
Subtotal	-	30.000,00
Fretes	80	48
Preço do frete (U.M./viagem)	750,00	750,00
Subtotal	60.000,00	36.000,00
Horas trabalhadas (h/ano)	2160	2279
Preço por hora (U.M./h)	16,80	16,80
Subtotal	36.288,00	38.287,20
Consumo de energia briquetadeira (kWh/ano)	-	129600
Preço kWh (U.M.)	-	0,45
Subtotal	-	58.320,00
Manutenção (U.M./ano)	-	45.000,00
Receita TOTAL (U.M.)	1.058.712,00	1.931.392,80

Os investimentos necessários para execução do projeto, abordando aspectos físicos e organizacionais, estão apresentados na Tabela 4. Entende-se por “Serviços” a instalação e teste da briquetadeira pelo fabricante do equipamento, assim como treinamentos para manutenção preventiva e para a operação diária da máquina. A construção de um ambiente exclusivo para o bom acondicionamento da briquetadeira e dos briquetes produzidos se faz necessária para evitar intempéries na máquina e impurezas nos briquetes, que serão vendidos como sucata de alta qualidade. Foi também orçada a compra de caçambas de armazenamento de cavaco, uma vez que as caçambas atualmente utilizadas são de propriedade do comprador da sucata não briquetada.

Tabela 4: Investimentos necessários

	Investimento
Briquetadeira	U.M. 600.000,00
Serviços	U.M. 50.000,00
Construção galpão	U.M. 55.000,00
Caçambas provisórias	U.M. 30.000,00
Caçamba armazenamento	U.M. 15.000,00
Total	U.M. 750.000,00

Conhecendo a receita e o investimento, calculou-se o retorno sobre investimento do projeto. A Tabela 5 apresenta o resumo financeiro.

Tabela 5: Resumo financeiro

Aumento do faturamento anual	U.M. 872.680,80
Investimento	U.M. 750.000,00
Retorno sobre investimento	11 meses

5.4 Impacto ambiental

Estimando que serão reaproveitados 3.000 litros de fluido de corte que seriam incinerados, será reduzido o consumo de óleos minerais e a produção de fumos pela queima deste óleo em 65%. O reaproveitamento do fluido de corte será realizado pelas próprias centrais de usinagem que receberão o fluido proveniente da briquetadeira. As centrais de usinagem presentes na fábrica dispõe sistemas filtrantes integrados com filtros mecânicos, filtros magnéticos e decantadores. O transporte de cavaco contaminado será eliminado e substituído pelo transporte de briquetes, reduzindo o risco de acidentes ambientais inerentes ao transporte de produtos perigosos.

Adotar práticas que valorizam resíduos e que reduzem os riscos de impactos ambientais é conveniente, pois as auditorias se tornam mais rígidas com o aumento da maturidade ambiental do país e o sentimento de união e propósito dos colaboradores é reforçado. Estes resultados vão de encontro a uma indústria mais sustentável e ecoeficiente.

6. CONCLUSÃO

A briquetagem de cavaco apresenta grande capacidade de valorização e de recuperação dos resíduos de usinagem na fábrica. O aumento da carga horária (5%) dedicada ao fluxo de cavaco na operação atual é negligenciável frente ao aumento na receita da venda de cavaco (90%). Aconselha-se o aprofundamento nas cotações de sucata encontradas, assim como a expansão dos fornecedores de briquetadeiras cotados para que se obtenha o cenário mais favorável possível. Contratos de venda de sucata briquetada podem ser firmados antes da implementação do projeto para respaldar e incentivar a execução do mesmo.

É conveniente lembrar que a sucata, principal componente da viabilidade econômica, não possui preços tabelados, podendo variar significativamente entre estados e regiões, impactando nas extrapolação das projeções aqui expostas. As consequências organizacionais não tiveram significância pois a companhia analisada adota um sistema robusto de gestão de resíduos, centralizando-os em um único local através de rotinas estruturadas, comportamento não generalizado em indústrias do ramo. O estudo das modificações que ocorrem em implementações de projetos deve ser meticuloso, pois têm grande influência no funcionamento da companhia e na viabilidade de implementação.

Por fim, recomenda-se o estudo de outras técnicas que valorizam a sucata e reutilizam o fluido de corte, como a centrifugação. Deste modo poderá se identificar qual o método mais sustentável e economicamente viável para as empresas metal-mecânicas do Sul do Brasil.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARADIE, M. A. El. **“Cutting fluids: part I. Characterisation”**. Journal of Materials Processing Technology. Dublin. Ireland, n°. 56. p. 786-797. 1996.

BROZEK, M.; NOVAKOVA, A.; **“Briquetting of chips from nonferrous metal”**. Czech University of Life Sciences Prague, 2010.

CARVALHO, F. P. A., GOMES, J. M. A., "Eco-eficiência na Produção de Cera de Carnaúba no Município de Campo Maior", Revista de Economia e Sociologia Rural, v. 46, n. 2, pp. 421-453, abr/jun 2008.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB) Superintendência de Pesquisas – **"Caracterização de efluentes contendo óleo e seu tratamento. São Paulo, DAEE/CETESB"**, 1979.

CONSELHO NACIONAL DE TRANSITO (CONATRAN), **Resolução número 293**, 2008

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA), **RESOLUÇÃO Nº 9**, DE 31 DE AGOSTO DE 1993

CASA CIVIL, **Decreto nº. 96.044**, de 18/05/1988

DANDOLINI, D. L. **"Gerenciamento Ambiental de Fluidos de Corte em Indústrias Metal-mecânicas"**, 2001

DRYZMAJA, Z. **"Research into the briquetting process for improved design of briquetting machines"**, Materials & Design, Volume 15, Issue 1, 1993

EISEN, E. A., TOLBERT, P.E., MONSON, R.R., & SMITH, T.J. **"Mortality studies of machining fluid exposure in the automobile industry I: A standardized mortality ratio analysis"** American Journal of Industrial Medicine, 22, 809–824, 1992

ZWOYER, E. B. A.; **"Briquet-making machine"**. United State Patent Office, patent number 718.043, 1903.

GRAYSON J. **"Reducing Melt Loss and Dross Generation"**. Light Metal Age Magazine. Ed. fevereiro, 2017.

GYOSHEV S. **"Advanced Computing for High Speed Briquetting of Metal Chips and Powders"**, 2016

KENNET M.; **"An integrated on-farm production system: Agricultural briquettes for residential heating in Nova Scotia, Canada"**, 2014.

KOPAC, J. **"Influence of cutting material and coating on tool quality and tool life"**. Journal of Materials Processing Technology, n. 78, p. 95-103, 1988

KUN Li, AGHAZADEH F., HATIPKARASULU S. & RAY T. G. **"Health Risks From Exposure to Metal-Working Fluids in Machining and Grinding Operations"**, International Journal of Occupational Safety and Ergonomics, 9:1, 75-95, DOI: 10.1080/10803548.2003.11076555, 2003

KURODA, M. **"Aumentando a lucratividade com óleos vegetais"**. O mundo da usinagem. 2. ed. São Paulo, 2006.

MCDUGAL OWEN M., SETH EIDEMILLER,† NICK WEIRES† AND MICHAEL M. MCCORMICK, Biomass Power & Thermal, **"Biomass Briquettes: Turning Waste into Energy,"** 4(12), 46-49, 2010.

MOTTA, F.; MACHADO, A. R. **Fluidos de corte: tipos, funções, seleção, métodos de aplicação e manutenção**. Revista Máquinas e Metais, São Paulo, p.44-56, set. 1995.

NBR 11175 “**Incineração de Resíduos Sólidos Perigosos – Padrões de Desempenho**” ABNT, Julho/1990

NBR ISO 9001:2015 “**Sistema de Gestão da Qualidade**” ABNT, 2015

NR 10 “**SEGURANÇA EM INSTALAÇÕES E SERVIÇOS EM ELETRICIDADE**” Portaria MTPS n.º 508, de 29 de abril de 2016

NR 12 “**SEGURANÇA NO TRABALHO EM MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS**” Portaria MTb n.º 326, de 14 de maio de 2018 15/05/18

PENCHEV T. et al. “**Briquetting of Metal Chips by Controlled Impact: Experimental Study**”, 2014

QUEIROZ, J. L. L. “**Caracterização da problemática ambiental decorrente da utilização dos fluidos de corte em processos de usinagem**”, proposta de trabalho de tese submetida ao curso de pós-graduação em Engenharia de Produção e Sistemas da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, mar./nov. 1998.

COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO (SABESP) “**Efeitos de óleos e graxas para a tratabilidade de esgotos e poluição difusa**”, 2007.

SAWADOGO M.; “**Cleaner production in Burkina Faso: Case study of fuel briquettes made from cashew industry waste**”. 2018

SLATER, D.; “**Who made that Charcoal Briquette?**” The New York Times Magazine. 2016

TECNOBRIQ INDÚSTRIA DE MÁQUINAS LTDA. “**O uso dos briquetes de cavacos de usinagem na fundição**”, 2012.

TRENT, E. M. “**Metal cutting**”. 2. ed. Londres: Butterworths & Co., 1985

WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT (WBCSD) “**Eco efficiency learning Module**”. Disponível em: <https://www.wbcd.org/Projects/Education/Resources/Eco-efficiency-Learning-Module> Acesso em: 09 nov. 2018.