



USO DE CASCA DE ARROZ COMO FONTE ENERGÉTICA NO PROCESSO DE SECAGEM DE GRÃOS EM UMA COOPERATIVA: ESTUDO DE VIABILIDADE

DOI: <http://dx.doi.org/10.55449/conresol.6.23.I-024>

Mirele Caroline Fagundes (*), Renata Farias Oliveira², Nádia Teresinha Schröder³,

* Instituição, Universidade, e-mail mirele.cf@gmail.com.

RESUMO

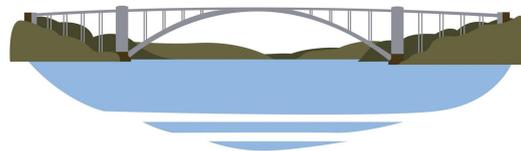
O Brasil é um grande produtor de alimentos devido a quantidade de cereais produzidos e exportados. Esta alta produção de cereais gera um grande volume de resíduos vegetais nas lavouras. Além disso, as indústrias do setor secundário, como as alimentícias e têxteis, que transformam esta matéria prima em produtos, são também grandes geradoras de resíduos vegetais. Neste contexto, tem-se um problema ambiental relacionado à disposição destes resíduos vegetais. No setor primário, eles são comumente incorporados ao solo, e no secundário são comercializados com baixo valor agregado, para fins de forração, destinados a aterros sanitários ou compostagem e uma pequena porcentagem é direcionada a recuperação energética. Além disso, podem ocorrer as destinações inadequadas, que podem provocar impactos ambientais, como o descarte a céu aberto. Ainda neste cenário, parte das indústrias de transformação englobam processos térmicos, que demandam combustíveis fosseis ou queima de madeira. A madeira utilizada em fornalhas deve ser proveniente de produtores licenciados e registrados, porém sem fiscalização pode ocorrer o desmatamento. Com este cenário ambiental, o Brasil possui um potencial agrícola a ser explorado frente a grande quantidade de resíduos vegetais. Neste contexto, pode-se utilizar estes resíduos com potencial para aproveitamento energético, proporcionando um destino mais adequado e ambientalmente correto, reduzindo o desperdício e aumentando a possibilidade da redução do custo da energia consumida nos setores industriais. É importante salientar a relevância ambiental deste estudo, uma vez que se propõe a avaliar a alteração do sistema de secagem de uma empresa de grãos, que faz uso da lenha para geração de calor. A proposta é de alteração de um sistema focado na perspectiva ambiental, que utiliza casca de arroz para geração de calor na operação de secagem de cereais, na forma de briquetes. Esta casca de arroz é gerada pela própria cooperativa e não possui aplicação em nenhum dos processos do empreendimento. Com a aplicação do sistema proposto é possível suprir toda a demanda de lenha do empreendimento, agregando retorno financeiro e benefícios ambientais.

PALAVRAS-CHAVE: casca de arroz, secagem, aproveitamento de resíduos, briquetes, benefício ambiental.

ABSTRACT

Brazil is a major food producer, due to the amount of cereals that are produced and exported. This high production of cereals generates a large volume of vegetable residues in the fields. In addition, industries in the secondary sector, such as food and textiles, which transform this raw material into products, are also major generators of vegetable waste. In this context, there is an environmental problem related to the disposal of these plant residues. In the primary sector, they are commonly incorporated into the soil, and in the secondary sector, they are sold with low added value, for cover purposes, destined for sanitary landfills or composting, and a small percentage is used for energy recovery. In addition, inappropriate destinations may occur, which can cause environmental impacts, such as open disposal. Still in this scenario, part of the transformation industries includes thermal processes, which require fossil fuels or wood burning. The wood used in the furnaces must come from licensed and registered producers, but without inspection deforestation can occur. With this environmental scenario, Brazil has an agricultural potential to be explored in view of the large amount of plant residues. In this context, these residues can be used with potential for energy use, providing a more suitable and environmentally correct destination, reducing waste and increasing the possibility of reducing the cost of energy consumed in industrial sectors. It is important to emphasize the environmental relevance of this study, since it proposes to evaluate the alteration of the drying system of a grain company, which uses firewood for heat generation. The proposal is to change a system focused on the environmental perspective, which uses rice husks to generate heat in the cereal drying operation, in the form of briquettes. This rice husk is generated by the cooperative itself and has no application in any of the enterprise's processes. With the application of the proposed system, it is possible to supply the entire firewood demand of the enterprise, adding financial return and environmental benefits.

KEY WORDS: rice husks, drying, use of residues, briquettes, environmental benefit.



INTRODUÇÃO

Em uma escala de produção mundial, o arroz é o terceiro grão mais produzido e o líder global de produção do grão é a China, seguido da Índia enquanto o Brasil ocupa o 9º lugar neste ranking de produtores de arroz. A região sul brasileira concentra 80,7% dessa produção (GLOBO, 2021).

Os cereais, após a fase de colheita, normalmente são encaminhados, ainda úmidos, a uma unidade de recebimento de cereais, onde será realizado, pré-limpeza, secagem e armazenagem segura dos grãos (MIRANDA, 2021). Após a etapa de armazenagem, o arroz pode ser comercializado em casca para outras indústrias, ou enviado em exportação a outros países, o que na maioria das vezes ocorre na fase em casca, além disso pode ser beneficiado pela própria indústria. A etapa de beneficiamento do cereal resulta em arroz beneficiado, subprodutos como o farelo, quirera e casca de arroz, além disso são gerados grãos rejeitados em fases de classificação.

A casca do arroz é um subproduto que representa em média 22% do volume total de arroz descascado (UFRGS, 2022). Sua utilização é bastante variada, podendo ser usada na produção de energia, cama para animais, incorporada ao processo produtivo do farelo de arroz desengordurado, e na produção de determinados alimentos para consumo humano e na agricultura (FONSECA et al. 2017). A casca, representa um problema para a indústria que beneficia arroz, justamente pelo grande volume resultante do descasque somado ao baixo valor agregado, mas ela é uma biomassa que pode ser utilizada como fonte de energia.

A biomassa é toda matéria orgânica de origem vegetal ou animal que pode ser usada para gerar energia, exemplo, lenha (usada convencionalmente) carvão vegetal, biogás gerado a partir de dejetos de animais, serragem de madeira, bagaço de cana-de-açúcar, caroço de pêssego, casca de arroz etc. (NUNES, et al., 2017). A utilização de biomassas alternativas gera reflexos na estrutura da empresa, sendo necessária adaptá-la. É possível trabalhar em consórcio com biomassa a granel e lenha, para isto deve-se projetar a fornalha para os dois modos de utilização, evitando acidentes devido ao uso inadequado das estruturas. (MELO, et al. 2010). Uma forma facilitada de utilizar biomassas em fornalhas é transformando-as em briquetes, o que faz com que a biomassa assuma o formato semelhante a lenha, dispensando as alterações nas fornalhas, porém fazendo necessária a aquisição de triturador de biomassa e briquetadeira.

O processo de briquetagem consiste na compactação da biomassa através de um pistão, este processo destrói a elasticidade das fibras através dessa pressão sofrida, provocando a união das partículas sem adição de aglutinante (BIOMAX, 2021). A grande vantagem da utilização de briquetes em comparação ao método de utilização a granel é estrutural, caso a indústria opte por acumular a geração de casca anual, para queima em safra o espaço demandado para armazenagem de briquetes é significativamente menor se comparado a armazenagem de casca granel.

OBJETIVO

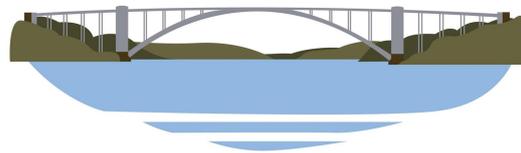
Este estudo teve por objetivo analisar a implantação do uso de resíduo de produção de arroz beneficiado, como fonte energética alternativa, em uma Cooperativa.

METODOLOGIA

Este é um estudo de caso realizado a partir do *modos operandi* da Cooperativa de Geração de Energia e Desenvolvimento Taquari-Jacuí, município de Taquari, RS. A Cooperativa é do ramo agropecuário, possuindo três lojas de rações, insumos e equipamentos além de uma agroindústria.

A agroindústria Certaja realiza recebimento, secagem, armazenamento e beneficiamento de arroz e milho. Para a secagem dos cereais recebidos em safra, a cooperativa utiliza lenha de eucalipto nos secadores, proveniente de produtor certificado, dotado de registro na SEMA/RS. No período de recebimento de grãos, a cooperativa opera com duas fornalhas, que fornecem calor à três secadores. Neste contexto, houve necessidade de analisar a viabilidade da troca do combustível usado na fornalha e determinar um modo seguro de realizar essa operação.

O estudo foi realizado baseando-se na biomassa casca de arroz, resultante da etapa de descasque no processo de beneficiamento do arroz, que pode ser utilizada de duas formas: a granel, ou briquetes. Este resíduo é direcionado a um silo de armazenamento temporário, onde aguarda pelo carregamento para que seja consumida. Nesta etapa a casca está disposta a granel no silo, e é a primeira proposta do uso em fornalha. Não é recomendado o uso de biomassa granel em fornos que não estejam adaptados para tal operação, pois torna-se inviável.



No processo de queima da madeira, há o reabastecimento da fornalha de forma manual (CONAB, 2020). Ao substituir o material combustível lenha, pelo reabastecimento do forno com casca de arroz observa-se que o volume de casca de arroz inserido deve ser muito maior tornando-se inviável a alimentação manual da fornalha com casca a granel. O volume do produto inserido no forno estenderia significativamente o tempo de forno aberto. Outro ponto que inviabiliza o processo de abastecimento manual da casca de arroz são fatores ergonômicos, o movimento repetitivo por parte do operador e a exposição ao calor por um período prolongado, além dos riscos de queda de produto no chão onde pode ocorrer um incêndio acidental (MELO, et al. 2010). Para essa alteração de combustível se faz necessária uma adaptação da estrutura dos fornos, com a implantação de um alimentador automático, para isto a estrutura da câmara de combustão também necessita alterações, onde funcionará apenas com casca de arroz.

A primeira ação foi avaliar a geração de casca do período compatível a secagem de grãos. Para isto foi quantificado a geração de casca por parte da cooperativa. Considerando condições normais de operação utilizou-se os dados do ano de 2019, levando-se em conta o 1º semestre, onde há baixo descasque juntamente ao recebimento de grãos (Tabela 1). A geração mensal de casca possui pouca variação, em se tratando do mesmo semestre, porém observou-se uma menor geração no primeiro semestre comparado ao segundo.

Tabela 1 – Consumo mensal de lenha em metros cúbicos. Fonte: Cooperativa Certaja (2021)

Mês	Quantidade de lenha consumida (m³)
Janeiro	50
Fevereiro	100
Março	150
Abril	200
Maiο	150
Junho	150

A partir da análise foi possível verificar se o sistema se sustentaria ou se haveria a necessidade de instalação de um silo para armazenamento prolongado da casca, formando um estoque de alguns meses para uso no período de safra. Ou ainda, a utilização de uma fornalha que possibilite o uso de biomassa granel e lenha em associação, uma fornalha híbrida (Figuras 1 e 2).

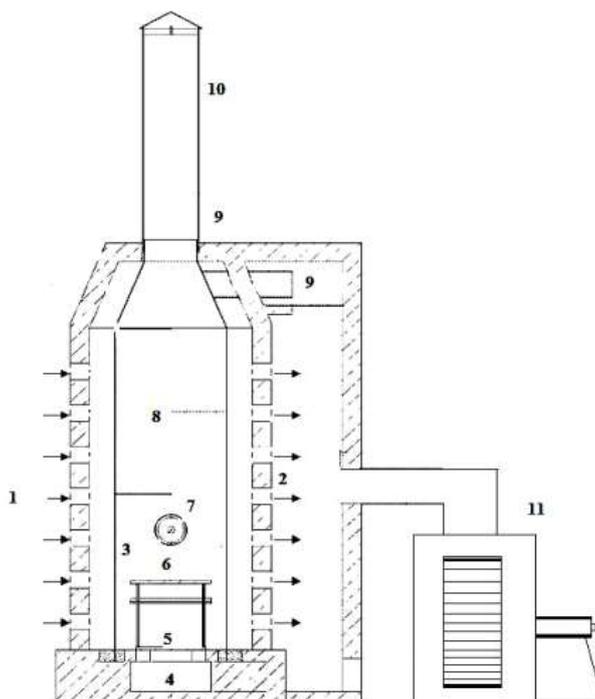


Figura 1 - Detalhes da fornalha normal usada para a queima de lenha. Fonte: MELO et al. (2010)

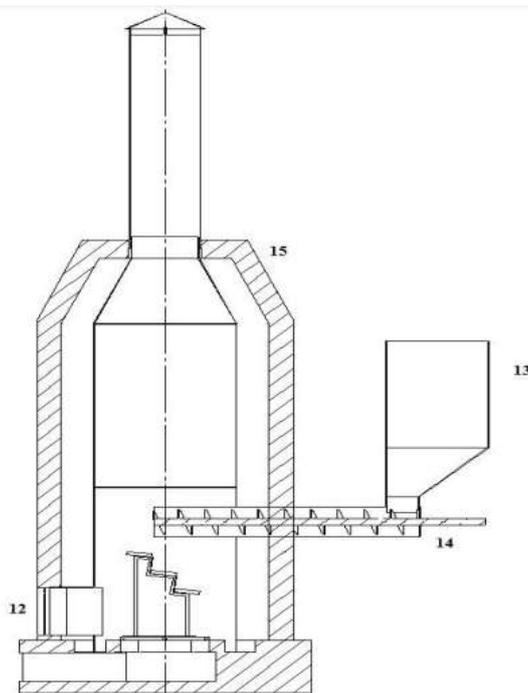


Figura 2 - Detalhes da fornalha híbrida. Fonte: MELO et al. (2010)

Com o uso de uma fornalha híbrida, as mudanças na estrutura se resumem às alterações a presença de duas grelhas: uma plana para uso de lenha e outra inclinada para alimentação automatizada da biomassa particulada. Com a adoção deste sistema híbrido é possível operar com a casca disponível no período em associação com a lenha, caso a casca gerada não seja suficiente. Ainda, há possibilidade de utilizar briquetes de casca de arroz na secagem, que são aglomerados de biomassa que passam por um processo de compactação mecânica a alta pressão. Neste processo é possível utilizar diversos resíduos vegetais (BIOMAX, 2021).

A briquetagem funciona com matérias de granulometria fina e umidade máxima de 16% (BIOMAX, 2021). No caso da casca de arroz a umidade é cerca de 12% devido a secagem do grão de arroz e seu tamanho é adequado a operação. A grande vantagem do uso de briquetes é a semelhança com a lenha, ou seja, não há a necessidade de adaptar a estrutura das fornalhas. Outra vantagem está associada a armazenagem dos briquetes, não necessitando de estrutura sofisticada para armazenamento. Segundo BIOMAX (2021), os briquetes podem ser armazenados por até um ano, desde que sejam armazenados em local seco. Este período de armazenagem permite que os briquetes sejam fabricados ao longo do ano, garantindo assim que haverá casca suficiente para sustentar a operação de secagem, pois desta forma pode-se contar com a geração de casca do ano inteiro.

Para fabricação dos briquetes de casca de arroz, é necessário a aquisição de uma briquetadeira. Existem diversos modelos ofertados no mercado, nos quais há variação do diâmetro do briquete produzido e da capacidade nominal em kg/h. Deve-se avaliar e escolher o mais adequado ao cenário de geração de resíduos da empresa. E para armazenar os briquetes, é possível aproveitar estruturas já existentes na cooperativa ou mesmo construir novas estruturas simplificadas para abrigo da chuva e umidade. A elaboração de briquetes reduz significativamente o volume ocupado pela casca enquanto granel (BIOMAX,2021).

RESULTADOS

Com o estudo de caso, foi possível realizar comparações de desempenho e avaliar quanto de casca de arroz é necessário para substituição da lenha nos processos de secagem da cooperativa. Foram apontadas duas alternativas de uso do resíduo: a granel ou briquetes. A alternativa de uso a granel requer alterações na estrutura dos fornos da cooperativa, essas alterações dependem dos cálculos de demanda necessária de casca de arroz para que sejam adotados os procedimentos corretos. Para mensurar a quantidade necessária de casca de arroz a granel, foi realizado um comparativo de equivalência entre os dois combustíveis. Como o poder calorífico fornecido por quilograma é exatamente igual, foi



realizada a comparação entre as massas, onde verificou-se que o volume de casca de arroz demandado é maior (equação 1).

$$\begin{aligned} 130\text{kg} &= 1\text{m}^3 \text{ de casca} \\ 441\text{kg} &= X\text{m}^3 \text{ de casca} \\ X &= \sim 3,39\text{m}^3 \text{ de casca} \end{aligned} \quad (\text{equação 1})$$

Este resultado permite consolidar a inviabilidade da alimentação manual da fornalha com casca a granel, devido ao volume de produto inserido no forno necessitar ser 3,39 vezes o volume de lenha que seria inserido, além de maior tempo de forno aberto. Neste contexto, pode-se dispensar a possibilidade de alimentação manual do sistema, além da falta de embasamento quanto a segurança da operação.

Para aplicação da casca de arroz a granel, sugeriu-se a utilização de alimentação automatizada, ajustes no equipamento e avaliação de autossustentação do sistema com utilização exclusiva de casca de arroz. Foi realizada a conversão de metros cúbicos para quilogramas, para que fosse possível confrontar com os dados de geração de casca de arroz. Mediante os dados em relação ao consumo de lenha demandado pela Cooperativa Certaja no mês em que ocorreu a maior demanda de lenha durante a safra 2021, foram requeridos cerca de 200m³ de lenha (equação 2).

$$\begin{aligned} 1\text{m}^3 \text{ lenha} &= 3,39\text{m}^3 \text{ casca} \\ 200\text{m}^3 \text{ lenha} &= x\text{m}^3 \text{ de casca} \\ X &= 678 \text{ m}^3 \text{ de casca} \end{aligned} \quad (\text{equação 2})$$

Após o comparativo estabelecido, foi necessário realizar a conversão de metros cúbicos para quilogramas, para que fosse possível confrontar com os dados de geração de casca de arroz (equação 3).

$$\begin{aligned} 1\text{m}^3 \text{ de casca} &= 130\text{kg} \\ 678\text{m}^3 \text{ de casca} &= X\text{kg} \\ X &= 88.140\text{kg} \end{aligned} \quad (\text{equação 3})$$

A partir do cenário da safra de 2021, observou-se que o sistema não se sustentaria. Foi citado como média mensal de geração de casca para o primeiro semestre daquele ano a quantidade de 55.000kg por mês. Diante desta análise observou-se que a agroindústria pode vir a não sustentar um sistema deste tipo.

Analisando-se a proposta de implantação de um sistema híbrido, considerou-se a adaptação das fornalhas e a dispensa da aquisição de silo ou depósito para casca de arroz. Esta proposta consistiu em consumir a casca disponível e utilizar a lenha caso a casca gerada não fosse suficiente, conforme os resultados da equação 3 de acordo com o cenário da safra 2021. Primeiramente fez-se necessário identificar a quantidade faltante de casca, e então converter para expressar em metros cúbicos de lenha (equações 4, 5 e 6).

$$A - B = X \quad (\text{equação 4})$$

Onde:

A = casca requerida para operação de secagem do mês em questão(kg)

B = casca gerada no mês em questão (kg)

X = casca faltante (kg)

$$\begin{aligned} 88140\text{kg} - 55000\text{kg} &= X \\ X &= 33140\text{kg de casca faltante} \end{aligned} \quad (\text{equação 5})$$

$$\begin{aligned} 33140\text{kg} / 441\text{kg} &= X\text{m}^3 \text{ lenha} \\ X &= 75,15\text{m}^3 \text{ lenha} \end{aligned} \quad (\text{equação 6})$$

Importante salientar que, para os cálculos realizados foi considerado apenas o mês de maior demanda de combustível para secagem, que foi o mês de abril. Neste contexto, os 75,15m³ de lenha que se sugere como complemento refere-se apenas a um mês. Aplicando estes cálculos ao restante dos meses que compõem a safra, tem-se para o mês de janeiro as equações 7, 8 e 9.



$$\begin{aligned} 1\text{m}^3\text{lenha} &= 3,39\text{m}^3\text{casca} \\ 50\text{m}^3\text{lenha} &= x\text{m}^3\text{de casca} && \text{(equação 7)} \\ X &= 169,5 \text{ m}^3\text{de casca} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 1\text{m}^3\text{de casca} &= 130\text{kg} \\ 169,5\text{m}^3\text{de casca} &= X\text{kg} && \text{(equação 8)} \\ X &= 22035\text{kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A(\text{jan}) - B(\text{jan}) &= X(\text{jan}) && \text{(equação 9)} \\ 22035\text{kg} - 55000\text{kg} &= -32965\text{kg} \end{aligned}$$

No mês de janeiro houve um excedente de aproximadamente 32.900 kg de casca, que poderiam ser comercializados. Em relação ao mês de fevereiro, segue o memorial de cálculo (equações 10, 11 e 12):

$$\begin{aligned} 1\text{m}^3\text{lenha} &= 3,39\text{m}^3\text{casca} \\ 100\text{m}^3\text{lenha} &= x\text{m}^3\text{de casca} && \text{(equação 10)} \\ X &= 339 \text{ m}^3\text{de casca} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 1\text{m}^3\text{de casca} &= 130\text{kg} \\ 339\text{m}^3\text{de casca} &= X\text{kg} && \text{(equação 11)} \\ X &= 44070\text{kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A(\text{fev}) - B(\text{fev}) &= X(\text{fev}) && \text{(equação 12)} \\ 44070\text{kg} - 55000\text{kg} &= -10930\text{kg} \end{aligned}$$

No mês de fevereiro foi possível constatar excedente de aproximadamente 10.900 kg de casca, que poderiam ser comercializados. Os cálculos dos meses de março, maio e junho foram iguais e por isso estão descritos uma única vez e representados pelas equações 13, 14 e 15:

$$\begin{aligned} 1\text{m}^3\text{lenha} &= 3,39\text{m}^3\text{casca} && \text{(equação 13)} \\ 150\text{m}^3\text{lenha} &= x\text{m}^3\text{de casca} \\ X &= 508,5 \text{ m}^3\text{de casca} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 1\text{m}^3\text{de casca} &= 130\text{kg} && \text{(equação 14)} \\ 508,5\text{m}^3\text{de casca} &= X\text{kg} \\ X &= 66105\text{kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A(\text{mar ou mai ou jun}) - B(\text{mar ou mai ou jun}) &= X(\text{mar ou mai ou jun}) && \text{(equação 15)} \\ 66105\text{kg} - 55000\text{kg} &= 11105\text{kg} \end{aligned}$$

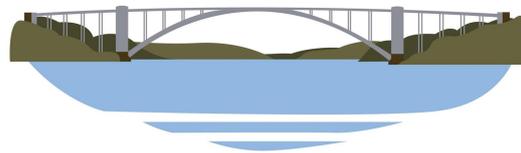
Nos meses de março, maio e junho foi possível averiguar que houve falta de geração de aproximadamente 11.105kg de casca de arroz. Na equação 16 identifica-se a representação em metros cúbicos de lenha:

$$\begin{aligned} 11105\text{kg} / 441\text{kg} &= X\text{m}^3\text{lenha} && \text{(equação 16)} \\ X &= 25,18\text{m}^3\text{lenha} \end{aligned}$$

Após mensurar os excedentes e carências de geração de casca de arroz em cada mês, apurou-se ser necessária a aquisição de pelo menos 150m³ de lenha para aplicação complementar no processo de secagem. Os cálculos foram baseados no comportamento adotado pela Cooperativa Certaja em relação ao consumo de lenha para o ano de 2021, onde foram adquiridos cerca de 800m³ de lenha. Assim sendo, foi possível estimar quanto haveria de economia em aquisição de lenha (equação 17):

$$800\text{m}^3 - 150\text{m}^3 = 650\text{m}^3 \quad \text{(equação 17)}$$

Considerando que o valor do m³ de lenha adquirido pela Cooperativa Certaja, no ano de 2021, foi de R\$70,00, pode-se mensurar a economia contida na equação 18. Também foi possível avaliar o valor capital que deixou de ser adquirido com a comercialização da casca de arroz. Considerando uma média dos preços aplicados à comercialização de casca de



arroz, a Cooperativa Certaja aplicou o valor de R\$0,025 por quilograma de casca (equação 19). Além disso, foi possível representar um fluxo de caixa simplificado (equação 20).

$$650m^3 \times R\$70,00 = R\$45.500,00 \quad (\text{equação 18})$$

$$286105 \times R\$0,025 = R\$7.152,63 \quad (\text{equação 19})$$

$$C - D = X \quad (\text{equação 20})$$

Onde:

C = Valor capital que deixou de ser aplicado na aquisição de lenha

D = Valor comercial que deixou de ser adquirido através da casca consumida

X = Valor excedente financeiro por safra

$$R\$45.500,00 - R\$7.152,63 = X$$

$$X = R\$38.347,37$$

Este excedente de caixa promovido ao longo da safra pode ser aplicado na quitação dos investimentos necessários para adaptação da estrutura da cooperativa. Neste contexto, isso seria a adequação das fornalhas para funcionamento híbrido e instalação da estrutura de alimentação de biomassa particulada de forma automatizada.

A proposta da briquetagem consistiu na elaboração de briquetes ao longo do ano, já que havia possibilidade de armazenar os briquetes por cerca de um ano, assim adequando o fluxo de sua produção de acordo com a disponibilidade de casca. Em relação a casca de arroz, foi identificada variação de geração ao longo do ano, com diminuição nos meses de janeiro a julho e aumento de julho a dezembro. Além disso, cabe destacar a variação da demanda comercial. Nos meses de julho a outubro, a demanda comercial aumenta devido a presença de maior umidade ocasionada pelo inverno, uma vez que a casca de arroz é utilizada como cama para animais, para eliminar a umidade. Nos meses de verão há baixa demanda fazendo com que haja dificuldade de destinar este resíduo. Uma estratégia adotada pela cooperativa é a bonificações do produto nos meses de baixa demanda na tentativa de efetivar carregamentos de casca. Com a implantação da briquetagem, seria possível comercializar a casca nos meses em que há demanda comercial presente, e nos meses em que a geração excessiva é problemática. É possível fabricar os briquetes para uso na secagem em período de safra. Para verificar se essa possibilidade era exequível foi necessário quantificar a necessidade de briquetes e de casca para sua fabricação. Ainda foi necessário comparar a quantidade de m^3 de briquetes que seriam necessários para substituição da quantidade de m^3 de lenha utilizada. (equação 21).

$$1m^3 \text{briquete} = 1100kg$$

$$1m^3 \text{casca} = 130kg$$

$$Xm^3 \text{de casca} = 1100kg$$

$$X = 8,46m^3 \text{de casca}$$

(equação 21)

Pode-se observar que $1m^3$ de briquete necessita aproximadamente $8,46m^3$ de casca para sua fabricação. Além disso, foi necessário calcular a quantidade de m^3 de briquete que seriam necessários para substituir a quantidade de m^3 de lenha utilizada. Para isso, foi necessário verificar a equivalência da relação de um com o outro.

$$1m^3 \text{briquete} = 1100kg$$

$$1m^3 \text{de lenha} = 441kg$$

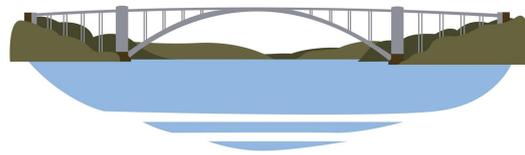
$$Xm^3 \text{lenha} = 1100kg$$

$$X = \sim 2,49m^3$$

(equação 22)

Pode-se observar que $1m^3$ de briquete de casca de arroz tem potencial para substituir aproximadamente $2,49m^3$ de lenha. E necessita aproximadamente $8,46m^3$ de casca para sua fabricação. Avaliando o espaço destinado ao armazenamento dos briquetes, observa-se que o melhor é não haver grande estoque, para que não ocupe a estrutura da cooperativa sem necessidade.

A Cooperativa CERTAJA utilizou no ano de 2021 as seguintes quantidades de lenha: janeiro $50m^3$, fevereiro $100m^3$, março, maio e junho $150m^3$ e abril $200m^3$. Para considerar o uso de briquetes de casca de arroz, foi necessário realizar os cálculos das equações 23, 24, 25 e 26. Cabe destacar que como os meses de março, maio e junho usaram a mesma



metragem cúbica (m^3) de lenha, o resultado de m^3 de briquetes foram iguais e, portanto, representados somente por uma única equação (25):

janeiro

$$1m^3 \text{briquete} = 2,49m^3 \text{lenha}$$

$$Xm^3 \text{briquete} = 50m^3 \text{lenha}$$

$$X = 20 m^3 \text{de briquete}$$

(equação 23)

fevereiro

$$1m^3 \text{briquete} = 2,49m^3 \text{lenha}$$

$$Xm^3 \text{briquete} = 100m^3 \text{lenha}$$

$$X = 40,16 m^3 \text{de briquete}$$

(equação 24)

mar/mai/jun

$$1m^3 \text{briquete} = 2,49m^3 \text{lenha}$$

$$Xm^3 \text{briquete} = 150m^3 \text{lenha}$$

$$X = 60,24 m^3 \text{de briquete}$$

(equação 25)

abril

$$1m^3 \text{briquete} = 2,49m^3 \text{lenha}$$

$$Xm^3 \text{briquete} = 200m^3 \text{lenha}$$

$$X = 80,32 m^3 \text{de briquete}$$

(equação 26)

Para que seja possível armazenar os briquetes pelo menor tempo possível, propôs-se que estes sejam fabricados o mais próximo do momento de sua utilização, inclusive dentro do próprio período de safra. Os dados de 2019 foram utilizados como os dados mais próximos da realidade de uma operação normal. No período de janeiro a junho daquele ano, a média de geração de casca de arroz foi de 110.000kg/mês, o que possibilitou a confecção de 100m³/mês de briquete de casca de arroz.

$$1m^3 \text{briquete} = 1100kg$$

$$110.000kg \text{ casca} = Xm^3 \text{de briquete}$$

$$X = 100m^3 \text{briquete}$$

(equação 27)

Foi possível observar que, o mês de maior demanda de briquetes para secagem exigirá cerca de 80m³ de material, enquanto em um cenário normal de operação da agroindústria há a possibilidade de fabricação de aproximadamente 100m³ de briquete mês. Porém avaliando-se a subsistência do sistema de briquetes diante de uma situação de retração do mercado do arroz (ano de 2021 com média de 55.000kg/mês de casca de arroz) foi possível verificar que o sistema não se sustentaria demandando 80m³ de briquete (mês de maior demanda), frente a uma produção de apenas 50m³ (equação 28) (Tabela). Destaca-se que é possível armazenar os briquetes assim como ocorre com a lenha. para proporcionar a subsistência do sistema, considerando um excedente final de 10m³ para garantia da operação. Diante deste cenário, nos meses de julho a outubro, quando há demanda comercial da casca, a Cooperativa manteria, a disposição dos associados, o resíduo para comercialização, e nos meses em que normalmente a casca de arroz é vista como um inconveniente, sem demanda comercial, seria realizada a confecção dos briquetes.

$$1m^3 \text{briquete} = 1100kg$$

$$55.000kg \text{ casca} = Xm^3 \text{de briquete}$$

$$X = 50m^3 \text{briquete}$$

(equação 28)



Tabela 2 - Comparação da produção x consumo de briquetes de casca de arroz. Fonte: autor do trabalho

Mês	Acumulado mês anterior (m³)	Produção de Briquete (m³)	Consumo de briquete (m³)	Saldo (m³)
Dezembro	-	30	-	30
Janeiro	30	50	20	60
Fevereiro	60	50	40	70
Março	70	50	60	60
Abril	60	50	80	30
Maio	30	50	60	20
Junho	20	50	60	10
Total	-	330	320	10

Com base nestas análises verificou-se que o sistema de briquetes se sustentaria mesmo em um cenário de crise como o de 2021, não sendo necessária a aquisição de lenha para complementar o processo de secagem. As quantidades de 800m³ lenha, para a operação de secagem no ano de 2021, utilizadas nos cálculos foram estabelecidas pela Cooperativa Certaja. Assim sendo, pode-se estimar quanto se teria de economia, se adotado o sistema de briquetes ao invés de lenha, considerando que o valor do m³ de lenha do ano de 2021 (R\$70,00) (equação 29). Além disso, foi necessário avaliar o valor capital que deixaria de ser adquirido com a comercialização da casca de arroz. É importante considerar a comercialização da casca de arroz para efeitos de variação de tendências de mercado, principalmente, em outro ano safra. Deve-se então quantificar o consumo de casca de arroz por meio do sistema de briquetes (equação 30):

$$800\text{m}^3 \times \text{R}\$70,00 = \text{R}\$56.000,00 \quad (\text{equação 29})$$

$$E \times F = X \quad (\text{equação 30})$$

Onde:

E = Quantidade de briquetes em m³ consumidos durante a safra

F = massa específica do m³ de briquete

X = quantidade de casca demandada em kg

$$320\text{m}^3 \times 1100\text{kg}/\text{m}^3 = 352.000 \text{ kg de casca}$$

A Cooperativa Certaja aplica o valor de R\$0,025/kg de casca de arroz (equação 31) considerando uma média dos preços aplicados à sua comercialização. Na equação 32 é possível visualizar a representação do fluxo de caixa simplificado.

$$352.000 \times \text{R}\$0,025 = \text{R}\$8.800,00 \quad (\text{equação 31})$$

$$G - H = X \quad (\text{equação 32})$$

Onde:

G = Valor capital que deixou de ser aplicado na aquisição de lenha

H = Valor comercial que deixou de ser adquirido através da casca consumida

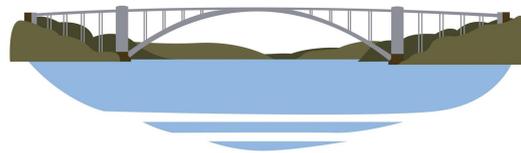
X = Valor excedente financeiro por safra

$$\text{R}\$56.000,00 - \text{R}\$8.800,00 = X$$

$$X = \text{R}\$47.200,00$$

O excedente de caixa ocorrido ao longo da safra pode ser aplicado na quitação dos investimentos necessários para aquisição de uma briquetadeira. Bem como as possíveis alterações na estrutura da cooperativa para instalação desta máquina em ambiente adequado e espaço para armazenar os briquetes.

Após as análises realizadas é possível perceber que o sistema de briquetagem é mais viável. Para utilização da casca a granel deve-se aplicar investimentos na adaptação de duas fornalhas para uso híbrido e na aquisição de estrutura para alimentação automatizada das duas fornalhas. Com este sistema, o excedente de caixa previsto por safra foi R\$38.347,37. Para o sistema de briquetagem há necessidade de aquisição de uma briquetadeira, e estrutura para armazenagem dos briquetes. Neste sistema, o excedente de caixa previsto é R\$47.200,00.



Com vistas a implantação do sistema de briquetes de casca de arroz foi considerado o fluxo de descasque que a Cooperativa Certaja aplica em seu beneficiamento. Há a geração de aproximadamente 7,5m³ de casca por hora. Assim sendo pode-se mensurar a disponibilidade de casca que haverá em fluxo para a fabricação de briquetes (equação 33):

$$1\text{m}^3 \text{ casca} = 130\text{kg}$$

$$7,5\text{m}^3 \text{ casca} = X\text{kg}$$

$$X = 975\text{kg casca}$$

(equação 33)

Nas especificações para briquetadeiras foi informado que não há necessidade de moer o resíduo, uma vez que ele possui granulometria adequada para briquetagem. Além disso, houve esclarecimento quanto ao período máximo possível de armazenagem dos briquetes. O modelo adequado ao fluxo da Cooperativa Certaja seria o B85/210 por ter capacidade nominal de 1100kg/h e capacidade para casca de arroz de 750kg/h.

Ainda deve-se considerar despesas estruturais. Sugere-se instalar a briquetadeira abaixo do silo de alvenaria para o armazenamento da casca de arroz já existente. Este silo possui piso reforçado para carregamento dos caminhões com 10 m de comprimento e 5 m de largura, com cobertura e proximidade com as paredes da balança (Figura 3). As dimensões aproximadas da briquetadeira são: 4 m de altura, 2 m de largura e 4 m de comprimento do equipamento somados 5,7 m de tubo condutor para resfriamento do briquete. Partindo dessas informações observa-se que o espaço de comprimento do piso não será suficiente, sendo que o equipamento e seu tubo de resfriamento totalizam 9,7 m. Porém é possível realizar a instalação da briquetadeira onde há piso reforçado e estender o piso na outra direção, sem necessidade de tanta resistência, onde estará posicionada a saída do briquete. Além disso, outras alterações são necessárias, como o fechamento das laterais com novas paredes. Nesta proposta se faz necessária a ampliação do piso. Na figura 4 é possível visualizar a proposta de extensão do piso.

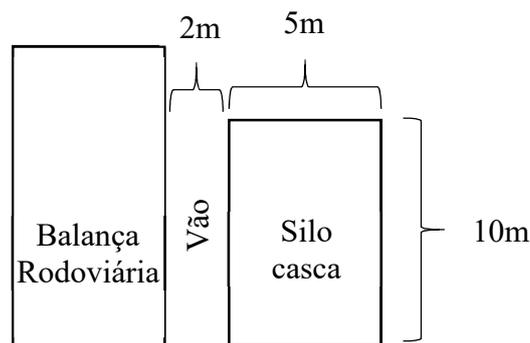


Figura 3 - Vista superior ilustrativa da estrutura. Fonte: autor do trabalho

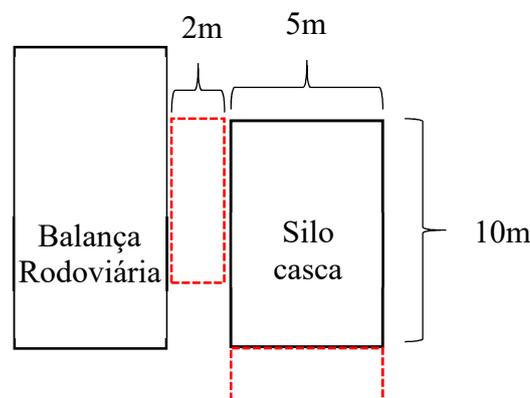


Figura 4 - Proposta de extensão do piso. Fonte: autor do trabalho

Além da construção do piso entre a balança e o silo e a construção de piso em frente ao silo, a adaptação também deve contemplar cobertura e fechamento das paredes, mas apenas onde foi expandido o piso. O esboço do piso onde antes havia um vão, deve possuir dimensões de 2 m por 7 m. E o piso em frente ao silo, onde ficará a saída dos briquetes, deve medir 5 m por 2 m (Figuras 5 e 6).

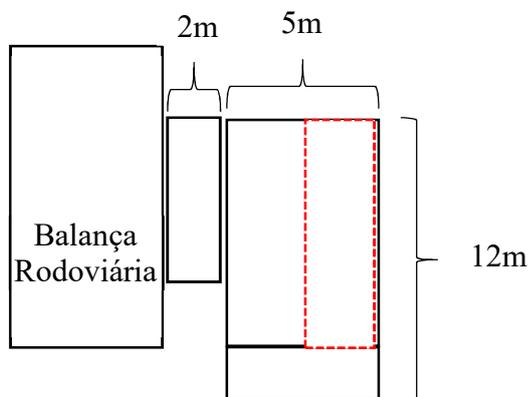
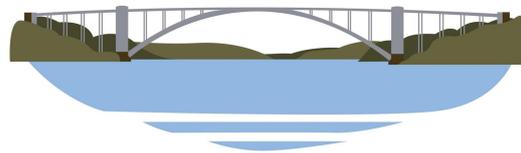


Figura 5 – Área de instalação da briquetadeira. Fonte: autor do trabalho

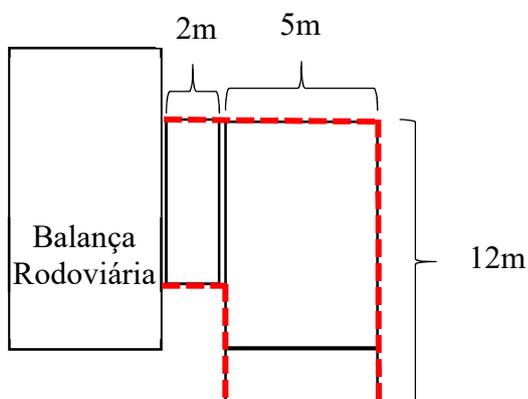


Figura 6 – Posição das paredes a serem construídas. Fonte: autor do trabalho

As paredes a serem construídas somam um total de 26 m e pouco mais de 4 m de altura. A nova área construída equivale a 24m² (Figura 7). Com o aumento da estrutura é possível disponibilizar uma área de 4 m por 7 m para armazenagem de 84m³ de briquetes (equação 34). Na parte frontal deste novo pavilhão sugere-se a colocação de uma porta na totalidade do vão.

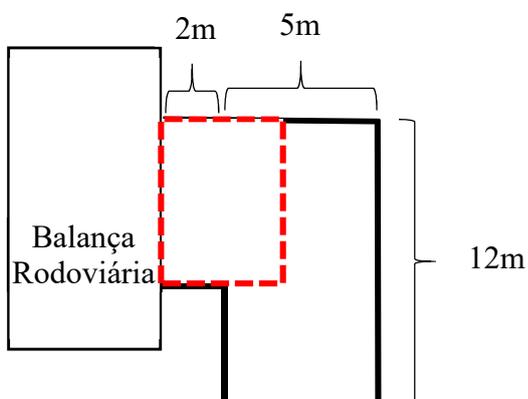
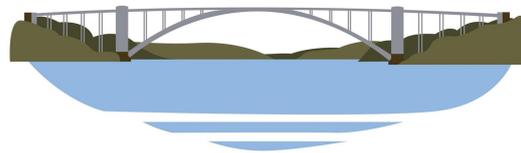


Figura 7 - Espaço para armazenamento de briquetes. Fonte: autor do trabalho



A x L x C

(equação 34)

Onde:

A = altura do empilhamento de briquetes

L = Largura da pilha

C = Comprimento da pilha.

3m x 4m x 7m

84m³ de briquetes

A necessidade de armazenamento que se apresentou foi até 70m³ de briquetes. Assim sendo, esta estrutura é capaz de suprir a demanda. Com isso é possível atingir o objetivo de subsistência do sistema.

CONCLUSÕES

Diante da problemática ambiental relacionada ao baixo aproveitamento de resíduos vegetais, foi realizada uma avaliação relacionada ao sistema de secagem utilizado pela Cooperativa Certaja, propondo a migração para um sistema ambientalmente correto. Há viabilidade ambiental na alteração do sistema onde espera-se diversos benefícios ambientais como o aproveitamento de resíduos e minimização de impactos associados a destinação final da casca de arroz.

Outro ponto a ser destacado é a dispensa de necessidade de aquisição de lenha pela Cooperativa. Com a adoção do sistema de briquetagem será possível destinar de forma correta e eficiente cerca de 352 toneladas de casca por safra e as cinzas geradas no processo de queima dos briquetes podem ser aplicadas em diversas indústrias dos mais variados ramos. Com base nestas análises verificou-se que o sistema de briquetes se sustentaria mesmo em um cenário de crise, e aparentemente não se faz necessária a aquisição de lenha para complementar o processo de secagem.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Biomax. **O que é briquetagem?**. Disponível em: <https://www.biomaxind.com.br/briquetagem/>. Acesso em: 23 out. 2022.
2. Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB). Armazenagem 30.101: **Conab**, Brasil, v. 1, n. 1, p. 1-95, 2020. Disponível em: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Fwww.conab.gov.br%2Fimages%2Farquivos%2Fnormativos%2F30000_sistema_de_operacoes%2F30.101_armazenagem-27-01-2020.pdf&clen=3241995&chunk=true. Acesso em: 24 out. 2022.
3. Fonseca, E. F. *et al.* Uso potencial da casca de arroz carbonizada na composição de substratos para produção de mudas de *Anadenanthera peregrina* (L) sp. **Revista Desafios**, v. 04, n. 04, p: 32 – 40, 2017.
4. Globo. **Brasil é o 4º maior produtor de grãos, atrás da China, EUA e Índia, diz estudo**. Disponível em: <https://g1.globo.com/economia/agronegocios/noticia/2021/06/01/brasil-e-o-4o-maior-produtor-de-graos-atras-da-china-eua-e-india-diz-estudo.ghtml>. Acesso em: 7 out. 2022.
5. Melo, F. A. D. O. *et al.* Desenvolvimento e construção de fornalha para biomassa com sistema de aquecimento direto e indireto do ar. **Maringá**, v. 32, n. 2, p. 129-136, 2010. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/251067164_Desenvolvimento_e_construcao_de_fornalha_para_biomassa_com_sistema_de_aquecimento_direto_e_indireto_do_ar. Acesso em: 12 out. 2022.
6. Miranda, T. P. de. **Avaliação de procedimentos operacionais de uma unidade armazenadora coletora**. 44f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2021. Acesso em: 18 jan. 2023
7. Nunes, O. M. *et al.* *O uso da casca de arroz como alternativa energética: um estudo de caso no município de Dom Pedrito – RS*. **IGepec**, Toledo, v. 21, n.2, p. 42-62, jul./dez. 2017.
8. Ufrgs. **Terra de Arroz**. Disponível em: <https://www.ufrgs.br/alimentus1/terradaerroz/index.htm>. Acesso em: 14 out. 2022.