



Universidade Federal da Paraíba
Centro de Tecnologia em Desenvolvimento Regional
Departamento de Tecnologia Sucroalcooleira



**AVALIAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA
PELLETIZAÇÃO DO BAGAÇO DE CANA DE
AÇÚCAR E CUSTOS DE IMPLEMENTAÇÃO DE
UMA INDÚSTRIA SUCROALCOOLEIRA**

Thayná Santos de Melo

João Pessoa/PB
Novembro/2018

Thayná Santos de Melo

**AVALIAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA
PELLETIZAÇÃO DO BAGAÇO DE CANA DE
AÇÚCAR E CUSTOS DE IMPLEMENTAÇÃO DE
UMA INDÚSTRIA SUCROALCOOLEIRA**

Trabalho de Conclusão do Curso de Tecnologia em Produção Sucroalcooleira do Centro de Tecnologia e Desenvolvimento Regional da Universidade Federal da Paraíba, como requisito para a obtenção do grau de Tecnólogo em Produção Sucroalcooleira.

Orientadora: Prof^a. Dr^a Danielle Christine Almeida Jaguaribe

João Pessoa/PB

Novembro/2018

**Catalogação na publicação
Seção de Catalogação e Classificação**

M528a Melo, Thayna Santos de.

AVALIAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA PELLETIZAÇÃO DO BAGAÇO DE CANA DE AÇÚCAR E CUSTOS DE IMPLEMENTAÇÃO DE UMA INDÚSTRIA SUCROALCOOLEIRA / Thayna Santos de Melo. - João Pessoa, 2018.

40 f. : il.

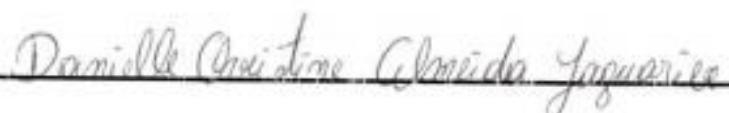
Orientação: Prof^a Dr^a Danielle Jaguaribe.
Monografia (Graduação) - UFPB/CTDR.

I. Pelets, bagaço de cana-de-açúcar, otimização, custos.
I. Jaguaribe, Prof^a Dr^a Danielle. II. Título.

UFPB/BC

TCC aprovado em 05/11/18 como requisito para a conclusão do curso de Tecnologia em Produção Sucroalcooleira da Universidade Federal da Paraíba.

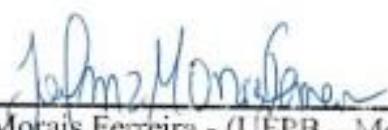
BANCA EXAMINADORA:



Profº, Drª. Danielle Christine Almeida Jaguaribe - (UFPB – Orientadora)



Profº, Drª. Erika Adriana de Santana Gomes - (UFPB – Membro interno)



Profº, Drª. Joelma Moraes Ferreira - (UFPB – Membro Interno)

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, pois acima de tudo é a minha maior fonte de inspiração. A minha avó, Maria José, professora, que sempre me ensinou o valor do estudo. Aos meus pais Lauro e Mary, por toda uma vida de dedicação aos filhos, ao aprendizado e aos melhores ensinamentos de vida. Ao meu esposo, Jair, por todo o apoio, paciência e incentivo nos momentos críticos. Aos meus irmãos, Rhafael, Laila e Paula que sempre serviram de coluna e sustento para não desabar. Aos meus Tios Josemar e Andréa que sempre serão umas das maiores referência de dedicação e amor. Também aos colegas e amigos de turma que sempre farão parte dos meus dias, lembranças e coração.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por todo o cuidado, amor e permissão, pois até aqui me ajudou o Senhor, Ele é a maior inspiração para alcançar lugares altos.

Agradeço a minha família por toda a paciência, incentivo e amor. Como diria Lenine “O que eu sou Eu sou em par Não cheguei Não cheguei sozinho”. Essa Vitória é nossa.

Agradeço a minha orientadora, Profª. Drª. Danielle Christine Almeida Jaguaribe por ser uma grande referência de garra, luta e conhecimento. Por toda a orientação e confiança na elaboração deste trabalho e por todo o ensino acadêmico ao longo desses anos.

Ao Técnico de Laboratório José Carlos por toda a paciência e ajuda na elaboração dos experimentos, você foi uma peça chave para que tudo isso acontecesse.

Meus agradecimentos aos amigos, colegas e professores que diretamente ou indiretamente fizeram parte da minha formação, a todos o meu muito obrigada.

RESUMO

Com a introdução das leis que instituem a diminuição, ou extinção das práticas da queimada pré colheita, surge um novo problema para a indústria sucroalcooleira: o acúmulo de subprodutos, tais como o bagaço de cana e a palha. Desponta então, para essas indústrias um novo problema, o do recolhimento, transporte e destinação dessa biomassa residual. Por outro lado, é sabido que tanto o bagaço de cana, quanto a palha, apresentam uma baixa massa específica, requerendo muito espaço para seu transporte, ou seja, faz-se necessário o desenvolvimento de sistemas que viabilizem a retirada desse material do campo, maximizando o volume de biomassa a ser transportada, minimizando o custo de transporte. Esse problema pode ser solucionado com a técnica de empacotamento da biomassa, em fardos, com o objetivo de uma melhor ocupação do espaço no transporte, aumentando a quantidade de material a ser transportado por unidade de tempo e volume, reduzindo-se assim os custos. Esse sistema, ainda poderia ser melhorado, com a utilização de aglomerantes orgânicos, que aumentariam ainda mais a massa específica do fardo, minimizando ainda mais o número de caminhões a serem utilizados. O objetivo deste trabalho é caracterizar, dentro do processo de peletização, as principais propriedades físicas, tais como: diâmetro, comprimento, umidade, massa específica e durabilidade. A segunda parte desse trabalho envolve um estudo dos requisitos básicos para a implantação do processo de peletização em uma indústria sucroalcooleira.

Palavras-chaves: Pelets, bagaço de cana-de-açúcar, otimização, custos.

ABSTRACT

With the introduction of the laws that establish the reduction, or extinction of the practices of the pre-harvest burnt, a new problem arises for the sugarcane industry: the accumulation of by-products, such as sugarcane bagasse and straw. In this way a new problem emerges for this kind of industry, the gathering, transportation and disposal of this residual biomass. On the other hand, it is known that both sugarcane bagasse and straw have a low density, requiring a lot of space for their transportation. Therefore, there is a need to develop systems that enable the removal of this material from the field, maximizing the volume of the biomass to be transported, minimizing the cost of transportation. This problem can be solved with the technique of packaging the biomass, in bales, with the objective of a better and optimized occupation of space and less costs. This system could be improved with the use of organic agglomerates, which would further increase the density of the bale, further minimizing the number of trucks to be used. The main goal of this study is to characterize, within the pelletizing process, the main physical properties, such as diameter, length, humidity, density, durability, and ash content of the raw material and the final product. The second part of this work involves a study of the requirements for the implementation of the pelletizing process in a sugarcane industry.

Keywords: Pellets, sugarcane bagasse, optimization, costs;

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Matéria prima após recebimento.....	22
Figura 2 – Moinho de facas utilizado para padronização das partículas.....	23
Figura 3 – Separação da granulometria: Grãos grossos.....	24
Figura 4: Separação da Granulometria: Grãos médios.....	24
Figura 5: Separação da Granulometria: Grãos fino.....	25
Figura 6: Prensa Hidráulica.....	25
Figura 7: Pellets de grãos grossos.....	29
Figura 8: Pellets de grãos médios.....	29
Figura 9: Pellets de grãos finos.....	30
Figura 10: Pellets com aglutinante.....	31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Normas de qualidade e de comercialização de biocombustíveis.....	20
Tabela 2: Perda de umidade.....	28
Tabela 3: Quantificação de massa específica dos pellets.....	29
Tabela 4: Requisitos para implantação do processo de Pelletização.....	31

1 INTRODUÇÃO.....	12
1.1 Objetivo Geral.....	14
1.1.1 <i>Objetivo Específico</i>	14
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
2.1 Biomassa na indústria sucroalcooleira	15
2.2 Pellets	16
2.3 Produção dos Pellets.....	17
2.4 Norma internacional de pellet de biomassa	19
2.5 Durabilidade.....	21
2.6 Baixo Teor de Cinzas.....	21
3 METODOLOGIA.....	22
3.1 Preparação da Biomassa	22
3.2 Produção dos Pellets.....	25
3.3 Caracterização do bagaço	26
3.3.1 Massa Específica	26
3.3.2 Umidade.....	26
3.4.1 Umidade.....	27
3.4.2 Massa Específica	27
3.4.3 Diâmetro e comprimento médios dos pellets.....	27
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	28
4.1 Análises dos pellets	28
Adição de aglutinante aos pellets.....	30
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	36

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor de cana de açúcar do mundo, mas a atual aceleração do crescimento dessa cultura fez com que alguns problemas surgissem. A atual preocupação com o meio ambiente e o surgimento de uma legislação para a regulamentação das queimadas pré-colheita tem feito com que as empresas produtoras da cana de açúcar adotem mudanças no sistema de colheita, extinguindo gradual, ou definitivamente a prática das queimadas da palha, ou palhiço. Parte dessa biomassa, pode ser misturada ao solo, trazendo o melhoramento das características físicas e químicas do solo. Outra biomassa residual da indústria sucroalcooleira é o bagaço, que para cada tonelada de cana produzida, há o excedente de 280 kg de bagaço. É sabido que essa biomassa excedente possa ser utilizada para a cogeração de energia, através de uma rota de gaseificação, por exemplo, infelizmente a prática da cogeração não é do interesse da maioria dessas indústrias, devido ao seu alto investimento. Assim, surge o problema do acúmulo de biomassa, que deve ser recolhido e transportado para um outro destino, devendo-se, portanto, desenvolver sistemas que minimizem o custo da retirada e do transporte. (FONTE, AUTOR)

Existe uma maior preocupação na diminuição de impactos ambientais, assim foi desenvolvido uma legislação que regularizasse as atividades de colheitas, diminuindo de forma parcial ou definitivamente essa prática. Segundo o SIGAM – Sistema Integrado de Gestão Ambiental, o decreto de Lei Estadual 47.700, de 11 de março de 2003 que regulamenta a Lei Estadual 11.241, de 19 de setembro de 2002, determinando prazos para a eliminação gradativa da utilização de queimadas para despalha da cana-de-açúcar nos canaviais paulistas, sendo de grande interesse agrícola e ecológico, estabelecendo prazos, procedimentos, regras e proibições que visam a regulamentação dessas práticas agrícolas. Com a extinção da queima na pré-colheita, o palhiço, pode alcançar valores de até trinta toneladas por hectare (base em peso úmido) (RIPOLI et al., 2003).

Segundo Franco (2003), essa biomassa traz benefícios ao sistema produtivo, pois melhora as características químicas e físicas do solo, controla plantas infestantes e pode ser usada como uma excelente biomassa para uso na cogeração de energia. Entretanto, para que o palhiço possa ser aproveitado em processos de cogeração de energia torna-se necessário o desenvolvimento de sistemas que viabilizem sua retirada do campo e seu posterior transporte até as usinas, onde seriam queimados isoladamente ou junto ao bagaço.

No Brasil, dentre as matérias primas de biomassa mais utilizadas têm-se o bagaço de cana-de-açúcar, que é o resíduo final da retirada do caldo da cana-de-açúcar nas usinas que produzem álcool e açúcar, posicionando o país entre os maiores produtores do mundo (MAPA, 2011). O bagaço de cana-de-açúcar também pode ser aproveitado na forma de paletes que é o nome dado ao produto resultante do processo de compressão aplicada a uma matéria prima, sendo que em muitos casos essa matéria prima é preparada previamente através do processo de secagem e moagem (ARSHADI et al., 2008; LEHMANN et al., 2012). Dentre as principais características dos pellets em relação a sua matéria prima destaca-se o maior poder calorífico, maior densidade, menor umidade e variação higroscópica, fácil manuseio e armazenamento, o que torna o produto final muito vantajoso se comparado à matéria prima inicial (RABIER et al., 2006; THEERARATTANANOON et al., 2011). Com esse desenvolvimento a peletização tem ganho mais espaço no mercado, também sendo direcionado para a produção de ração animal, combustível, etc. Em 2010, a produção mundial de pellets de biomassa foi superior a 12 milhões de toneladas (RASGA, 2013).

Com a introdução das leis que instituem a diminuição, ou extinção das práticas da queimada pré colheita, surge um novo problema para a indústria sucroalcooleira: o acúmulo de subprodutos, tais como o bagaço de cana e a palha. Surge então, para essas indústrias um novo problema, o do recolhimento, transporte e destinação dessa biomassa residual. Por outro lado, é sabido que tanto o bagaço de cana, quanto a palha, apresentam uma baixa massa específica, requerendo muito espaço para seu transporte, ou seja, faz-se necessário o desenvolvimento de sistemas que viabilizem a retirada desse material do campo, maximizando o volume de biomassa a ser transportada, minimizando o custo de transporte. Esse problema pode ser solucionado com a técnica de empacotamento da biomassa, em fardos, com o objetivo de uma melhor ocupação do espaço no transporte, aumentando a quantidade de material a ser transportado por unidade de tempo e volume, reduzindo-se assim os custos. Esse sistema, ainda poderia ser melhorado, com a utilização de aglomerantes orgânicos, que aumentariam ainda mais a massa específica do fardo, minimizando ainda mais o número de caminhões a serem utilizados.

A produção de cana-de-açúcar estimada pela Companhia Nacional de Abastecimento (Conab) para a safra 2017/18 é de 647,6 milhões de toneladas – uma redução de 1,5% em relação à safra anterior. A área a ser colhida está estimada em 8,84 milhões de hectares, queda de 2,3%, se comparada com a safra 2016/17. Os dados são do primeiro levantamento da safra 2017/18, divulgado pela instituição. Na mesma ocasião,

também foi lançado o quarto e último levantamento da safra 2016/17. Segundo a Conab, a produção de cana-de-açúcar estimada para a safra 2016/17 é de 657,18 milhões de toneladas, um valor 1,3% menor em comparação com a safra anterior. Já a área colhida foi estimada em 9,05 milhões de hectares, um aumento de 4,6% em relação a 2015/16. (CONAB, 2017)

Sabe-se que atualmente grande parte do bagaço é utilizado na geração de energia. No entanto, devido à grande quantidade dessa biomassa as usinas podem ter o problema com seu armazenamento estocagem e transporte. A pelletização surge como uma alternativa para a otimização no armazenamento e transporte de bagaço bem como avaliação das principais propriedades físicas, químicas e mecânicas, dimensionamento dos fluxos de massa e custos envolvidos nas etapas do processo.

A produção de pellets de bagaço de cana de açúcar já é bastante utilizada no Brasil, porém muitos estudos acerca deste processo ainda precisam ser realizados.

O seguinte trabalho visa estudar as etapas de produção dos pelets através da matéria prima cana-de-açúcar. Inicialmente foram comparadas algumas metodologias e artigos científicos para a produção dos pelets, avaliando-se a rentabilidade e os benefícios para a indústria. Nas etapas seguintes foram incluídas as avaliação da temperatura e pressão, além da caracterização da: umidade, tamanho das partículas, massa específica para assim determinar o consumo energético e os custos para a produção.

1.1 Objetivo Geral

Otimizar o processo de produção de pellets, a partir do bagaço de cana-de-açúcar, *in natura* ou utilizando-se aglomerantes orgânicos, analisando-se as variáveis envolvidas e a visibilidade de implantação dessa técnica de empacotamento em uma indústria de médio porte.

1.1.1 Objetivo Específico

- Analisar variáveis do processo como temperatura e pressão;
- Caracterização das variáveis como: umidade, tamanho de partículas e massa específica dos pellets;
- Realização das análises de custos no processo de produção de pelletização do bagaço em uma indústria de médio porte.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Biomassa na indústria sucroalcooleira

Em 2012 a produção brasileira de bagaço de cana-de-açúcar alcançou 154,1 milhões de toneladas (EPE, 2013). Uma grande parte deste material é utilizada nas próprias usinas de produção de álcool e açúcar para a geração de vapor e boa parte é utilizada para a geração de energia elétrica (DANTAS, 2010).

Todavia, em função da grande quantidade disponível dessa biomassa no Brasil, o processo de pelletização surge como alternativa para a destinação deste subproduto, tendo a capacidade de transformar a biomassa residual em um material com propriedades mais atraentes, com vantagens nos quesitos de poder calorífico, armazenamento, transporte, estocagem, destinação de resíduos industriais (WOLF, VIDLUND e ANDERSON, 2006; CARONE, PANTALEO e PELLERANO, 2011; STAHL e BERGHEL, 2011).

Biomassa pode ser definida como o conjunto dos materiais orgânicos autótrofos do reino vegetal (fitomassa) ou acumulados nos seres heterótrofos do reino animal (zoomassa). Estes organismos autótrofos fotossintéticos fazem a transformação da energia solar em energia química, através da biogeoquímica dos cloroplastos contidos na clorofila das plantas. Essa energia fica retida e acumulada nos espaços intermoleculares e é liberada posteriormente por processos de oxidação, redução e hidrólise, que podem ser de natureza termoquímica, bioquímica ou biológica (SOARES e OLIVEIRA, 2006).

No Brasil, desde a década de 70, programas de utilização de biomassa como fonte de energia vêm sendo realizados. Em 1975 o Governo Federal através do Ministério de Minas e Energia lançou o programa Pró-Álcool, seguido em 1978 pelo programa Pró-Óleo que em 2002 veio a se tornar o programa Biodiesel (SILVA, GOMES E ALSINA, 2007). Nesses dois programas destaca-se a utilização de biomassa como matéria prima, destacando-se o álcool fabricado através da matéria prima cana-de-açúcar e o biodiesel que pode ter como matéria prima plantas como soja, girassol, canola e babaçu entre outras (EMBRAPA, 2013).

O etanol figura entre as principais fontes de energia de biomassa gerada em nosso país, sendo também o principal biocombustível utilizado no mundo (BASTOS, 2007). O etanol é produzido através da planta cana-de-açúcar, que é submetida ao processo de cultivo, colheita da planta, transporte até as usinas, extração do caldo, tratamento do caldo, preparação do mosto com adição de produtos (químicos, mel, xarope e água),

fermentação do caldo com leveduras e aditivos, separação do vinho e destilação para a produção de álcool (PEREIRA, 2008).

O bagaço de cana-de-açúcar é uma biomassa que também vem sendo utilizada em larga escala. Ele é subproduto da extração do caldo da cana-de-açúcar nas usinas de produção de álcool e açúcar. Devido ao aumento da produção destes produtos e implantação de novas usinas, acompanhando o aumento da demanda do mercado brasileiro e mundial por estes produtos, o bagaço de cana se tornou o principal resíduo agrícola do país, principalmente no que se refere à utilização da biomassa para geração de energia (BACCI e SANTOS, 2008).

Considerando que na safra de 2011/2012 foram moídas 559 milhões de toneladas de cana-de-açúcar dá para se estimar o grande potencial da utilização desta biomassa, embora uma grande quantidade já seja usada nas próprias usinas de produção de álcool e açúcar para geração de vapor e energia elétrica (UNICA, 2012). Em 2012, 11,2% do consumo final de energia no Brasil foi oriunda do bagaço de cana-de-açúcar (EPE, 2013). Atualmente o produto está sendo utilizado em larga escala para geração de vapor, eletricidade e geração de calor entre suas principais aplicações.

2.2 Pellets

O processo de pelletização de biomassa consiste na compactação da matéria prima, aplicando alta pressão e obtendo como resultado os pelets, com diâmetros finais entre 6 à 12 mm e comprimento variável (STAHL e BERGHEL, 2011). Em muitos casos, a matéria prima deve ser preparada através do processo de secagem e moagem antes de ser submetida ao processo final de pelletização. Na secagem, o contato da biomassa com o ar em altas temperaturas retira água do material, resultando em uma umidade menor e apropriada para o processo de pelletização (CORRÊA, 2003). Em outra definição, pellets é considerado como combustível orgânico produzido na forma cilíndrica, utilizando biomassa adensada oriundas de resíduos e serragem, tendo como características principais o alto poder calorífico, acima de 17 MJ/kg, umidade inferior a 10%, baixos teores de cinzas e densidade acima de 650 kg/m³ que garantem a praticidade operacional, baixo volume de armazenamento, transporte mais econômico e combustão mais eficiente (RASGA, 2013).

Uma das formas utilizadas para facilitar o armazenamento e o transporte do bagaço é a produção dos pellets que consiste na compactação e densificação do bagaço

da cana-de-açúcar, utilizando-se aditivos orgânicos que servirão como uma cola. Pelo fato de formar um material de tamanho característico e uniforme, se comparando à matéria prima inicial, há uma facilidade no seu manuseio, armazenamento e custo de transporte reduzido.

Após o bagaço ser pelletizado o mesmo torna-se menos suscetível as variações causadas pelo ambiente, causada no armazenamento por longos períodos.

2.3 Produção dos Pellets

O processo de pelletização do bagaço de cana é influenciado por diversos fatores como: teor de umidade, distribuição do tamanho das partículas, massa específica versus teor de aglomerante, bem como parâmetros de operação, tais como temperatura e pressão. Essas propriedades são muito importantes para a obtenção de um produto uniforme. As principais características esperadas do processo de pelletização para torná-los uma alternativa competitiva, comparando-se às propriedades da matéria prima são:

- Aumento do poder calorífico da biomassa a qual ocorre através da diminuição da umidade da matéria prima.
- Aumento da densidade: através da moagem que diminui o comprimento das partículas do material e o deixa melhor agrupado por unidade de volume e, principalmente, o aumento da densidade proveniente da redução de volume (prensagem) na matriz de pelletização.
- Maior energia por menor volume – fator que se deve ao aumento do poder calorífico pela diminuição da umidade e também à compactação.
- Menores custos de transporte – esse fator é um dos mais importantes, pois com o aumento da densidade, aumenta a facilitação e a redução dos custos de transporte da biomassa.
- Menores áreas e menores custos de armazenamento – com o aumento da densidade em algumas vezes, o espaço tomado para armazenamento se torna menores, diminuindo o espaço necessário para estocagem.
- Menores custos para a instalação de queimadores (fornalhas e caldeiras) para utilização dos pellets como combustível – devido à maior concentração de energia por volume, o dimensionamento do tamanho de fornalhas e caldeiras é menor.

- Produto de fácil manuseio – pelo fato de se tornar um material de tamanho pequeno e uniforme se comparado à matéria prima inicial, o manuseio se torna mais fácil.
- Transformação de resíduos orgânicos ou subprodutos em combustíveis – fator importante na concepção do mundo atual, pois em muitos casos esses produtos ou subprodutos eram descartados na natureza.
- Alto controle da chama e do calor gerado, homogeneidade na queima –gera o controle nas caldeiras e fornalhas, diminuindo consideravelmente as variações no processo.
- Permanência das características e propriedades do produto após estocagem por longos períodos – a suscetibilidade às variações que podem ser ocasionadas pelo ambiente é minimizada, conservando principalmente a forma, densidade e umidade do produto devido a sua alta compactação (WOLF, VIDLUND e ANDERSON, 2006; CARONE, PANTALEO e PELLERANO, 2011; STAHL e BERGHEL, 2011).

O processo de produção de Pellets consiste em oito fases principais, que são as seguintes (LIPPEL,2011):

- 1- Recepção: a matéria-prima é descarregada nas moendas que separam o material, iniciando o processo.
- 2- Classificação: Alguns fatores podem estar fora de conformidade, como contaminantes ou tamanho inadequado, assim são separados por peneiras rotativas. As partículas de bagaço de cana-de-açúcar deve ter dimensões inferiores a 100 mm; se estiverem fora dessas dimensões é necessário serem reduzidos por um repicador.
- 3- Secagem da Biomassa: um parâmetro importante para a produção dos pellets é o teor de umidade do bagaço de cana. A matéria pode ser seca em um forno rotativo antes do processo de Trituração fina e transportada pneumaticamente através da corrente de gases aquecidos, assegurando a secagem total do produto, até alcançar cerca de 10% de umidade residual.
- 4- Separação: O bagaço de cana seco é separado dos gases de aquecimento e conduzido ao sistema de moagem final.
- 5- Moagem: A matéria é triturada em moinho martelo para garantir a homogeneidade e a diminuição das fibras, possibilitando a absorção de vapor misturado em cascata.

- a) Pelletização: garante a alta produtividade e qualidade do pellet. O equipamento funciona com elevado volume de carga e possui fácil manuseio e manutenção. As principais vantagens da pelletização são: custo de transporte reduzido; fácil armazenamento; manuseio simplificado; produto homogêneo e administrável; combustível neutro em CO₂; não polui o meio ambiente.
- 6- Resfriamento: Devido a fricção gerada durante o processo, ocorre um aquecimento adicional dos pellets, este calor deve ser retirado anteriormente ao peneiramento e armazenamento.
- 7- Armazenagem: após a refrigeração e limpeza, os pellets podem ser armazenados em silos ou empacotados em sacos especiais. Há possibilidade de instalar uma planta auxiliar para a remoção de poeira com filtros para tratar o ar descarregado na atmosfera.

A densidade a granel é a razão entre a massa e o volume no empacotamento livre ou sem compactação (THEERARATTANANOON et al., 2011). Esta medida é utilizada para carregamentos a granel e no cálculo do peso de cargas, como por exemplo, no peso de uma massa determinada ao ocupar o volume de uma carroceria de caminhão. Nestes casos consideram-se, no volume total, os espaços vazios de empacotamento existentes entre partículas do material. Já, na densidade da partícula, é considerada a massa de uma determinada partícula pelo volume real ocupado por ela.

Vários estudos destacam a importância da umidade e suas implicações que representam percentual de água existente em peso no material (STAHL et al., 2004). Em casos de elevadas umidades, acima do especificado em produção de pellets de biomassa, alguns impactos são altamente negativos, como a diminuição da durabilidade e consequente diminuição do tempo de estocagem (CARASCHI, PINHEIRO e VENTORIM, 2012). Além disso, com um valor elevado de umidade aparecem dificuldades para lograr a ignição necessária da biomassa nas fornalhas do sistema de secagem. Outro aspecto importante, levando agora em consideração o valor de compra dos pellets, é a alteração do peso, pois com o aumento de umidade se tem mais massa de água por unidade de massa do produto, acarretando perdas para o consumidor.

2.4 Norma internacional de pellet de biomassa

Na Tabela 1, a seguir, são apresentadas as normas internacionais de qualidade, ISO 17225-6/2014, para comercialização de pellets de biomassa e biocombustíveis sólidos não lenhosos mais utilizadas atualmente nos principais produtores e consumidores

do mundo. Já, a norma ISO 17225-2/2014, é utilizada para pellets produzidos a partir de madeira. A norma EN 1496-1 é utilizada para biocombustíveis sólidos e a norma USA PFI utilizada para pellets produzidos a partir de biomassa. É válido ressaltar a comparação das propriedades de pellets produzidos através da matéria prima bagaço de cana-de-açúcar com pellets produzidos através de outros tipos de biomassa e outros biocombustíveis sólidos, pois estes podem vir a ser utilizados pelos mesmos consumidores e tipos de equipamentos. (ALMEIDA, 2015). Almeida (2005) ainda diz que no critério comprimento, todos produtores utilizam faixas entre 3,15 à 40 mm. Dentre o parâmetro densidade a granel, com exceção da norma PFI/2011, todas utilizam o critério com valores acima de 600 kg/m³. O mesmo acontece com a durabilidade e o teor de finos, onde quase todas as normas partem de valores similares. No parâmetro umidade, as normas referenciam valores abaixo de 10%, sendo abaixo de 12% apenas na norma ISSO 17225-6/2014. Para o poder calorífico é exigido valores acima de 14,5 MJ/kg pela norma ISSO 17225-6/2014 e valores acima de 16,5 MJ/kg para as outras normas. Valores de nitrogênio, enxofre e cloro são diferenciados para cada norma.

Tabela 1: Normas de qualidade e de comercialização de biocombustíveis

Especificação	ISO 17225-6	ISSO 17225-2	EN 14961-1	USA PFI Standard
Diâmetro (mm)	6-10	6,8,12 ± 1	6,8,10 ± 1	5.48 – 7.25
Comprimento (mm)	3.15 – 40	3.15 – 40	3.15 – 40	≤42
Densidade a granel (kg/m ³)	≥600	≥600	≥600	608.7 – 746.9
Durabilidade (%)	≥97.5	≥97.5 - ≤99	≥96.5	≥96.5
Umidade (%)	≤12	≤10	≤10	≤10
Poder Calorífico (MJ/Kg)	≥14.5	≥16.5	≥ 16.5	-
Teor de Cinzas (%)	≤6	≤0.7	≤ 1.0	≤2.0
Finos (%)	≤2	≤1	≤ 1.0	≤1.0

Nitrogênio, N (%)	≤ 1.5	≤ 0.3	$\leq 0.5\%$	-
Enxofre, S (%)	≤ 0.2	≤ 0.04	$\leq 0.05\%$	-
Cloro, Cl (%)	≤ 0.1	≤ 0.02	$\leq 0.3\%$	< 300 ppm

Fonte: (ALMEIDA, 2015)

2.5 Durabilidade

A durabilidade é um fator físico fundamental dos pellets de biomassa e se caracteriza por não se dissolverem em finos ou pó, os quais são indesejados, dependendo principalmente da taxa de compressão definida entre a razão do diâmetro e comprimento do furo da matriz de pelletização ($taxa = D/L$) e da temperatura alcançada durante o processo (LEE et al., 2013).

Os finos e pó gerados podem prejudicar à saúde humana caso sejam inalados além de poder proporcionar risco de explosão e incêndio se estiverem em concentração acima do permitido pela legislação internacional. A durabilidade é definida pela razão entre o peso dos pellets, menos o peso de finos e pó, pelo peso total da amostra. Este resultado é apresentado em percentual, que é medido após aplicação do teste de durabilidade o qual consiste em colocar uma amostra em uma caixa acoplada a um motor com rotação constante por um determinado período. Após as rotações é realizado o peneiramento da amostra e o seu peso é comparado com a amostra inicial, determinando-se a quantidade de finos gerada (TEMMERMAN et al., 2006).

2.6 Baixo Teor de Cinzas

O teor de cinzas corresponde à fração mássica dos resíduos restantes após a queima, formados por minerais presentes na biomassa durante o ciclo de vida da matéria viva, ou mesmo, oriundos de processo prévio ou da própria colheita. Normalmente, nas cinzas são encontrados Cobre, Cálcio, Ferro, Magnésio, Potássio, e Sódio, portanto, elevados teores de cinzas são indesejados na queima de biomassas (BRAND, 2007).

A presença destes elementos diminui o poder calorífico da biomassa, pois reduz o percentual de material combustível disponível para queima. Outra consequência indesejada é a corrosão de equipamentos, diminuindo a vida útil dos mesmos, bem como,

o problema que pode ser gerado na hora do descarte das cinzas, visando a preservação do meio ambiente (RICHARDSON et al., 2002).

3 METODOLOGIA

Este estudo foi desenvolvido nos Laboratórios de Processos e Operações Unitárias e Tecnologia Sucroalcooleira (CTDR) da UFPB, que dispõe dos equipamentos e ferramentas necessárias ao desenvolvimento das atividades de pesquisa, relacionado ao empacotamento do bagaço da cana de açúcar, biomassa residual da indústria sucroalcooleira. Foram selecionados padrões das medidas das porções de biomassa versus volume de aglomerante, massa específica, temperatura de empacotamento, parâmetros esses que foram considerados na determinação da eficiência do sistema.

3.1 Preparação da Biomassa

Após a coleta, na própria Universidade do bagaço de cana de açúcar, o mesmo foi seco em uma estufa à temperatura de 105°C durante duas horas para redução do seu teor de umidade.

Figura 1 – Bagaço da cana após o recebimento.



Fonte: Autor – 2018

Após o recebimento, foi armazenada em vasilhames de plásticos envoltos com papel filme até sua utilização.

Com a utilização do moinho de facas (Figura 2) foi realizada a moagem do bagaço seco para adquirir padronização das partículas e facilitar sua utilização nas pastilhas.

Figura 2 – Moinho de facas utilizado na Trituração para padronização das partículas



Fonte: Autor – 2018

O bagaço triturado foi colocado em peneiras de base vibratória para separação da granulometria. Foram utilizadas peneiras com *meshes* de: 12 (1,68 mm), 16 (1,18 mm), 20 (0,85 mm), 30 (0,60 mm), 40 (0,43 mm), 50 (0,30 mm) 70 (0,21 mm) e o fundo coletor. O bagaço foi separado em grãos: grossos, médios e finos. Para os grãos grossos utilizamos a mistura das peneiras 12, 16 e 20. Para os grãos médios, misturamos os grãos das peneiras 30, 40 e 50. Já para os grãos finos, utilizamos a peneira 70 e o que colhemos no fundo coletor, respectivamente, servindo para avaliar qual a melhor granulometria para produção das pastilhas (Figura 3).

Figura 3 – Separação da granulometria: Grãos grossos, referente as peneiras: 12, 16 e 20.



Fonte: Autor – 2018

Figura 4: Separação da Granulometria: Grãos médios referente as peneiras: 30,40 e 50



Fonte: Autor – 2018

Figura 5: Separação da Granulometria: Grãos finos, referente as peneiras:70 e fundo coletor.



Fonte: Autor – 2018

3.2 Produção dos Pellets

Para a produção dos pellets, foi utilizado uma prensa hidráulica com o auxílio de um molde cilíndrico de 7,7 cm de diâmetro (Figura 6).

Figura 6: Prensa Hidráulica ($P=5 \text{ à } 12 \text{ kgf.cm}^{-2}$)



Fonte: Autor – 2018

Utilizamos duas formas de produção dos pellets, uma sem auxílio de aglutinante, com o bagaço puro e outro com a adição do óleo pirolenhoso – líquido residual da produção de carvão ativado – que foi utilizado para aumentar o potencial ligante entre as partículas, aumentando a sua estabilidade.

Para a produção dos pellets, utilizando apenas o bagaço, foi utilizado cerca de 20,0 g de bagaço puro.

Foi aplicado uma pressão de 5 à 12 kgf.cm⁻² durante 30 min, adicionamos aquecimento com um soprador de calor que varia de 300 à 500°C/min.

Após estas etapas as pastilhas sem aglutinante foram resfriadas durante 15 min a temperatura ambiente para serem retiradas da prensa hidráulica.

Já o processo com o bagaço umedecido com o aglutinante, foi prensado 20,0 g de bagaço, adicionando-se 25,0 mL de óleo pirolenhoso e 5,0 g de maisena para auxiliar na estrutura do pellet. A mistura foi adicionada a prensa hidráulica a uma pressão de 8.220 kgf.cm⁻², durante 30 min, adicionamos aquecimento com um soprador de calor que variou de 300 à 500°C/min.

Após estas etapas as pastilhas sem aglutinante esfriaram durante 20 min a temperatura ambiente para serem retiradas da prensa hidráulica.

3.3 Caracterização do bagaço

Foi realizada a caracterização dos pelletes com e sem aglutinantes.

3.3.1 Massa Específica

A massa específica do bagaço a granel, foi determinada colocando-se o bagaço em uma proveta de 50,0 mL (convertendo para m³), quantificando-se através da razão entre a massa e o volume ocupado. O experimento foi realizado em triplicata.

3.3.2 Umidade

Foi adicionado 500,0 g de bagaço na estufa à temperatura de 105 °C durante duas horas, colocando-se no dessecador e pesando-se até obter peso constante. A umidade foi quantificada, realizando-se a diferença de massa antes e depois da secagem.

3.3.3 Diâmetro do Bagaço

Foi colocado aproximadamente 500,0 g de bagaço no conjunto de peneiras com aberturas decrescentes (*mesh* de: 12, 16, 20, 30, 40, 50, 70 e o fundo coletor). As peneiras foram agitadas por 5 minutos, permitindo a classificação das partículas em diferentes diâmetros.

3.4 Caracterização dos pellets

3.4.1 Umidade

O pallet foi esmagado para fazer a medição do teor de umidade. Secou-se ao sol, pesando-se antes e depois.

3.4.2 Massa Específica

As dimensões do pellet foram medidas com um auxílio de um paquímetro. O volume foi determinado em seguida por imersão em água, em seguida quantificou-se a massa específica pela razão da massa pelo volume (m^3).

3.4.3 Diâmetro e comprimento médios dos pellets

O diâmetro dos pellets foi imposto pela matriz de pelletização, podendo ocorrer variações, portanto, foram efetuadas medições de comprimento e diâmetro.

3.5 Estudo de viabilidade econômica de implantação do projeto de pelletização em uma usina, considerando os seus requisitos básicos

O empreendimento destinado à produção de pellets deve ser avaliado desde o recebimento do bagaço até a fase final de expedição. Aqui, o estudo foi limitado, referindo-se apenas aos custos relativos ao sistema de preparação e produção.

O custo com a produção dos pellets varia de acordo com diversos fatores, tais como: (1) capacidade produtiva do equipamento, (2) umidade e granulometria do bagaço, (3) número de horas trabalhadas por dia e (4) número de dias trabalhados por mês.

O custo de produção não considera o custo com embalagem.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análises dos pellets

a) Teor de umidade do bagaço

A Tabela 2 mostra a avaliação da perda de umidade, nas 5 amostras analisadas, cada uma contendo 100,0 g de bagaço.

Tabela 2: Perda de umidade das amostras de bagaço

Amostras	Tara (g)	Antes da secagem (g)	Após secagem (g)	Perda (g)	Teor de água %
Amostra 1	549,00	649,00	594,00	55,00	8,47
Amostra 2	566,00	666,00	610,00	56,00	8,41
Amostra 3	624,00	724,00	670,00	54,00	7,46
Amostra 4	612,00	712,00	658,00	54,00	7,58
Amostra 5	628,00	728,00	674,00	54,00	7,42

Fonte: Autor – 2018

Através dos dados obtidos, observou-se que o teor de umidade foi de aproximadamente de 8,47 a 7,42%, potencializando o poder calorífico do bagaço.

b) Massa específica

Utilizando os grãos grossos, obtivemos pellets com diâmetro de 7,68 cm, altura de 0,8 cm e massa de 19,6 g. Para grãos médio e finos obtivemos pellets com diâmetro de 7,68 cm; altura de 0,66 e 0,48 cm e massa de 19,2 e 18,9 g, respectivamente. Quando os grãos finos foram utilizados obtivemos dificuldades na construção dos pellets devido a granulometria ser muito fina, fazendo com que em algumas partes as estruturas se desmanchessem. A Tabela 3 apresenta os resultados referente as áreas, volumes e massas específicas dos pellets produzidos.

Tabela 3: Quantificação de massa específica dos pellets

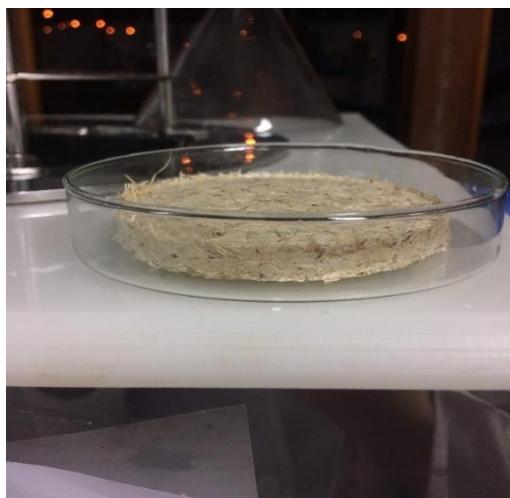
	Área (cm ²)	Volume (cm ³)	Massa Específica (kg/m ³)
Grãos Grossos	46,30	37,25	526,0
Grãos Médios	46,30	30,55	628,0
Grãos Finos	46,30	22,22	850,0

Fonte: Autor – 2018

Os resultados determinados foram comparados com os obtidos por outras pesquisas de pelletização de bagaço de cana-de-açúcar. Ou seja, os dados obtidos na literatura para a massa específica do bagaço de cana de açúcar à granel foi de 250 kg/m³, obtendo um aumento de 210,4; 251,2; 340% com relação aos pellets produzidos com grãos grossos, médios e finos, respectivamente. Segundo a literatura não se conseguiu obter um pellets com massas específicas superiores (1.100 kg/m³ a 1.300 kg/m³) (Referência?).

As Figuras 7, 8 e 9 ilustram pellets produzidos, utilizando os grãos grossos, médios e finos, respectivamente.

Figura 7: Pellets de grãos grossos



Fonte: Autor – 2018

Figura 8: Pellets de grãos médios



Fonte: Autor – 2018

Figura 9: Pellets de grãos finos



Fonte: Autor – 2018

Para os pellets umedecidos com o aglutinante (Figura 10), devido à grande quantidade de umidade, não foi possível quantificar ou fazer algum tipo de análise de massa, peso, altura, volume ou massa específica. Entretanto, avaliamos que a granulometria do bagaço médio foi o melhor para a produção para esse tipo de pellet.

Adição de aglutinante aos pellets

Foi adicionado 25 ml de óleo pirolenhoso e 5g de amido para fixar a estrutura do pellet. No processo também foi direcionado calor através de um soprador de calor, que atinge até 500°C. Porém após o tempo de resfriamento, a estrutura do pellet não permaneceu firme como o esperado. Como apresentado na figura 10.

Figura 10: Pellets com aglutinante



Fonte: Autor – 2018

4.2 Estudo dos requisitos básicos para a implantação do processo de pelletização em uma indústria sucroalcooleira

A pesquisa desenvolveu um conhecimento resumido da implantação de uma indústria peletizadora de bagaço de cana, a qual será uma ideia inovadora para a indústria sucroalcooleira, ampliando a rentabilidade, uma vez que o poder calorífico do bagaço peletizado é superior ao bagaço *in natura*, além de otimizar a sua estocagem e transporte.

A Tabela 4 a seguir apresenta resumidamente os requisitos básicos necessários para o empreendimento.

Tabela 4: Requisitos para implantação do processo de pelletização

Localização	A indústria peletizadora deve ser um anexo à indústria sucroalcooleira, aonde estarão disponíveis a matéria-prima, água, energia e mão-de-obra capacitada, além de outros insumos.
Imóvel	O imóvel deve atender às necessidades operacionais relacionadas à capacidade de instalação, possibilitando a expansão, serviços de água, luz, esgoto e internet. É necessário acesso facilitado entre a indústria e seu anexo, local para a carga e descarga do bagaço, estacionamento para os transportes.
Funcionamento	Em geral a instalação de uma fábrica de pellets exige a licença do IBAMA e das Agências Reguladoras Estaduais. Isto porque os pellets utilizam produtos de origem “florestal” em

sua fabricação. Além disso, este é um produto utilizado como combustível em caldeiras e fornos, cujos limites máximos de poluentes estão sujeitos a controle.

Estrutura	O espaço físico escolhido para abrigar a indústria de pellets deve ser compatível com suas expectativas de produção, desde que parte deste espaço seja coberto para abrigar os seguintes ambientes: Área de recepção e estocagem de matéria prima, bagaço seco e galpão de produção.
Pessoal	O quadro pessoal irá variar de acordo com o tamanho do empreendimento e o nível de capacidade de fabricação de pellets. No entanto, com base em estudos anteriores pode-se estimar esse número de funcionários entre 7 e 10 pessoas: - 01 para a recepção; - 01 para vendas; - 01 para execução de atividades administrativas; - 04 a 07 para a área de produção
Equipamentos	Os equipamentos necessários para a montagem de uma indústria de pellets, considerando uma empresa de médio porte: • Uma briquetadeira n/95 ou Nac 100 m (compactadora); • Um silo seco; • Um secador de tambor; • Pás para o recolhimento e o espalhamento do bagaço. • 02 caminhões próprios ou terceirizar esse serviço; • Uma secador para aquecer o bagaço; • Extrusora de pistão mecânico. • Além de materiais para escritório
Organização do Processo Produtivo	O processo de pelletização inclui as seguintes etapas: Trituração, secagem, prensagem (compactadora) a alta temperatura e embalagem. O produto final tem a forma cilíndrica ou retangular e fica parecido com os aglomerados de madeira. O formato é determinado pelo equipamento utilizado. O processo de pelletização se dá pela compactação/compressão a uma alta pressão, fato que traduzirá em aumento da temperatura da ordem de 100° C. Essa elevação de temperatura provoca a “plastificação” da lignina, substância que atua como elemento aglomerante da celulose contida no bagaço.
Distribuição	As fábricas de pequeno porte, com baixa produção comercializam seus produtos para pequenos comércios como: padarias, pizzarias, churrascarias, cerâmicas, destilarias, etc. As fábricas de maior porte, com vendas de grandes quantidades, em geral possuem vendedores especializados e/ou representantes para atendimento a indústrias maiores, como de papel, refrigerantes, metalúrgicas, indústrias de óleos vegetais, dentre outros empreendimentos.

Investimento	Um investimento inicial requerido para montar uma indústria de pellets, para processar 20 ton/dia é aproximadamente o seguinte: 1. Uma briquetadeira n/95 ou nac 100 m (compactadora) - R\$ 385.020,00; 2. Um silo seco - R\$ 13.500,00; 3. Um secador de tambor - R\$ - 17.350,00 4. Pás carregadeira (recolher e espalhar bagaço) - R\$ 19.500,00; 5. Extrusora de pistão mecânico - R\$ 40.000,00.
--------------	--

Somatório Total dos Equipamentos = R\$ 475.370,00

Fonte: http://www.sebrae.com.br/momento/quero-abrir-um-negocio/integra_bia?ident_unico=1440).

5 CONCLUSÃO

A primeira etapa do estudo avaliou os equipamentos e as etapas do processos de fabricação envolvidos, determinando as principais propriedades do bagaço de cana-de-açúcar e dos pellets produzidos. As propriedades analisadas para a matéria prima em todas as etapas do processo foram: umidade, diâmetro, comprimento, massa específica, durabilidade e teor de cinzas.

A massa específica do bagaço *in natura* aumentou de 210; 251,2 e 340% com relação aos pellets produzidos com os grão grossos, médios e finos, ou seja, quanto mais fino o grão, mais denso o pellet, demonstrando a eficiência da pelletização realizada.

A viabilidade de implantação de uma indústria de pellets, em forma de anexo em uma indústria sucroalcooleira de médio porte, com uma produção de 20 ton de pellets ao dia será mais explorado em estudos posteriores, pois não conseguimos dados suficientes para avaliar o potencial retorno financeiro. Ainda assim, como pellets de bagaço de cana têm sido bastante utilizados na Europa, obtendo um grande retorno financeiro nos últimos anos, acredita-se que o Brasil é um país com grandes possibilidades de crescimento nesse setor.

A utilização do bagaço de cana-de açúcar, maior resíduo sólido da indústria sucroalcooleira exibe muitas aplicações tanto na produção de energia, quanto em outras aplicações industriais, como a produção de pellets que essa é uma alternativa cada vez mais viável para a estocagem e armazenamento. Com maiores estudos será possível quantificar a potencialização do seu poder calorífico, aumentando assim o rendimento na produção de energia, além de um aumento positivo na rentabilidade da indústria.

SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Estudar os efeitos da pelletização do bagaço de cana-de-açúcar;
- Realizar uma análise energética da utilização de outros tipos de resíduos de atividades sucroalcooleiras;
- Estudar a influência da granulometria da biomassa na produção de pellets e comparar seu desempenho na utilização como matriz energética;
- Avaliar mais atribuições aos efeitos do óleo pirolenhoso adicionado ao pellets para produção de energia;

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, L. F. P. Pelletização do bagaço de cana-de-açúcar: estudo das propriedades do produto e rendimento do processo. 2015. 84 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2015.
- ARSHADI, M.; GREF, R.; GELADI, P.; DAHLQVIST, S.; LESTANDER, T.; The influence of raw material characteristic's on the industrial pelletizing process and pellet quality. Fuel Process Technol. v. 89, p.1442-1449, 2008
- BACCI, M. S.; SANTOS, A. M.; Avaliação energética do bagaço de cana em diferentes níveis de umidade graus de compactação. Anais do XXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGET), 2008.
- BASTOS, V. D. Etanol, Alcoolquímica e biorrefinarias. BNDES Setorial, n. 25, p. 5-38, mar. 2007.
- BRAND, M. A. Qualidade da biomassa florestal para uso na geração de energia em função da estocagem. 196f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Centro de Ciências Florestais e Agrárias UFPR, Curitiba, 2007.
- BRASIL. Balanço Energético Nacional - BNE. Disponível em <<https://ben.epe.gov.br/>>. Acesso em: 28 julho. 2014
- BRASIL. Companhia Nascional de Abastecimento – Conab. Disponivel em <<http://www.novacana.com/>> Acesso em 02 setembro. 2018
- BRASIL. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa. Disponível em <<https://embrapa.br/>> Acesso em: 28 julho. 2014.
- BRASIL. Lippel. Disponível em <<http://www.lippel.com.br/>>. Acesso em: 05 de maio. 2014.
- BRASIL. União da Indústria de cana-de-açúcar – UNICA. São Paulo. Disponível em <<http://www.unicadata.com.br/historico-de-producao>>. Acesso em: 09 jan. 2013.
- CARASCHI, J. C.; PINHEIRO, D. G.; VENTORIM, G.; Caracterização física e química dos pellets de madeira produzidos no Brasil. Encontro brasileiro em madeiras e estruturas de madeira, 2012.
- CHARTERS, W. W. S.; Developing markets for renewable energy technologies. Renewable Energy. v. 22, p. 217, 2001.
- CORRÊA, J. L. G. Discussão de parâmetros de projeto de secadores ciclônicos. 2003, 169 f. Tese (Doutor em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2003, Campinas.
- DANTAS, D. N. Uso da biomassa da cana-de-açúcar para geração de energia elétrica: análise energética, exergética e ambiental de cogeração em sucroalcooleiras do interior paulista. 2010, 1012 f. Dissertação (Mestre em Ciência da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Paulo, Universidade de São Paulo, 2010, São Paulo.

- FRANCO, F. N. Alguns parâmetros de desempenho operacional de um sistema de recolhimento de palhiço de cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) a granel. 2003. 113 p.
- LEE, S. M.; AHN, B. J.; Choi, D. H.; HAN, G.; JEONG, H. S.; AHN, S.H.; YANG, I.; Effects of densification variables on the durability of wood pellets fabricated with *Larixkaempferi* C. and *Liriodendron tulipifera* L. sawdust. *Biomass Bioenerg*, v. 48, p. 1-9, 2013.
- MANZANO-AGUGLIARO, F.; ALCAYDE, A.; MONTOYA, F. G.; ZAPATA-SIERRA, A.; GIL, C.; Scientific production of renewable energies world wide: An overview. *Renewable and Sustainable Reviews*, v. 18, p. 134-143, 2013.
- MAPA – Ministério da Agricultura e Pecuária. 2011. Information available at www.agricultura.gov.br
- PANWAR, N.L.; KAUSHIK, S.C.; KOTHARI, S.; Role of renewable energy sources in environmental protection a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 15 p. 13–24, 2011.
- PEREIRA, C. L. F.. Avaliação da Sustentabilidade Ampliada de Produtos Agroindustriais. Estudo de caso: Suco de Laranja e Etanol. 2008. 268 f. Tese (Doutor em Engenharia de Alimentos) – Departamento de Engenharia de Alimentos, Universidade de Engenharia de Alimentos, Campinas, 2008.
- RABIER, F.; TEMMERMAN, M. I.; BOHM, T.; HARTMANN, H.; Particle density determination of pellets and briquettes. *Biomass and Bioenergy*, v. 30, p. 954-963, 2006.
- RASGA, R. O. S.; pellets de madeira e sua viabilidade econômico-financeira na substituição do óleo BPF-A1 em pequenos e médios consumidores no Estado de São Paulo 2013. 2013, 165 f. Dissertação (Mestre em Agroenergia) - Escola de Economia de São Paulo da Fundação Getúlio Vargas, 2013, São Paulo.
- RICHARDSON. J.; BJORHEDEN, R.; HAKKILA, P.; LOWE, A.T.; SMITH, C.T.; Bioenergy from sustainable forestry: Guiding principles and practice. *Forestry Sciences* v. 71. Kluwer Academic Publishers, 2002, 364p.
- RIPOLI, M. L. C; RIPOLI, T. C. C; GAMERO, C. A. Colheita integral: retrocesso ou barateamento do sistema. *IDEA NEWS*, Piracicaba, v. 4, n. 28, p. 66-67, jan. 2003.
- SILVA, V. L. M. M.; GOMES, W. C.; ALSINA, O. L. S.; Utilização do bagaço de cana-de-açúcar como biomassa adsorvente na adsorção de poluentes orgânicos. *Revista Eletrônica de Materiais e Processos*, v.2, p. 27-32, 2007.
- SOARES, T. S.; OLIVEIRA, A. C.; Uso da Biomassa Florestal na Geração de Energia. *Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal*. Ano IV, número 8, 2006.
- STAHL, M.; BERGHEL, J. Energy efficient pilot-scale production of wood fuel pellets made from a raw material mix including sawdust and rapeseed cake. *Biomass and bioenergy*, v. 35, p. 4849-4854, 2011.

STAHL, M.; GRANSTROM K.; BERGHEL, J.; RENSTROM, R. Industrial processes for biomass drying and their effects on the quality properties of wood pellets. *Biomass and bioenergy*, v.27 , p. 621-628, 2004.

TEMMERMAN, M.; RABIER, F.; JENSEN, P. D.; HARTMANN, H.; BOHM, T. Comparative study of durability test methods for pellets. *Biomass and Bioenergy*, v. 30, p. 964 – 972, 2006.

THEERARATTANANOON, K.; XU, F.; WILSON,J.; BALLARD, R.; MCKINNEY, L.; STAGGENBORG, S.; VADLANI, P.; PEI, Z. J.; WANG, D. Physical propertieis of pellets made from sorghum stalk, corn stover, wheat straw and big bluestem. *Industrial Crops and Products*. v, 33, p. 325 – 332, 2011

WOLF, A.; VIDLUND, A.; ANDERSON, E. Energy efficient pellet production in the forest industry - a study of obstacles and success factors. *Biomass and bioenergy*, v, 30, p. 38 – 45, 2006.