

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CATALÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**PRODUÇÃO DE ADUBOS DE LIBERAÇÃO LENTA
UTILIZANDO A BRIQUETAGEM DE FINOS DE
CALCÁRIO E MELADO DE CANA: ESTUDOS INICIAIS**

DOUGLAS YUSUF MARINHO

Catalão – GO

2019

**TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR
VERSÕES ELETRÔNICAS DE TESES E DISSERTAÇÕES
NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG**

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), regulamentada pela Resolução CEPEC nº 832/2007, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei nº 9610/98, o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou download, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

1. Identificação do material bibliográfico: Dissertação Tese

2. Identificação da Tese ou Dissertação:

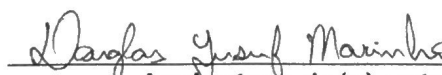
Nome completo do autor: Douglas Yusuf Marinho

Título do trabalho: Produção de adubos de liberação lenta utilizando a briquetagem de finos de calcário e melado de cana: estudos iniciais.

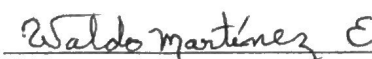
3. Informações de acesso ao documento:

Concorda com a liberação total do documento SIM NÃO¹

Havendo concordância com a disponibilização eletrônica, torna-se imprescindível o envio do(s) arquivo(s) em formato digital PDF da tese ou dissertação.


Assinatura do(a) autor(a)²

Ciente e de acordo:


Assinatura do(a) orientador(a)²

Data: 11 / 10 / 2019

¹ Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. A extensão deste prazo suscita justificativa junto à coordenação do curso. Os dados do documento não serão disponibilizados durante o período de embargo.

Casos de embargo:

- Solicitação de registro de patente;
- Submissão de artigo em revista científica;
- Publicação como capítulo de livro;
- Publicação da dissertação/tese em livro.

² A assinatura deve ser escaneada.

PRODUÇÃO DE ADUBOS DE LIBERAÇÃO LENTA UTILIZANDO A BRIQUETAGEM DE FINOS DE CALCÁRIO E MELADO DE CANA: ESTUDOS INICIAIS

DOUGLAS YUSUF MARINHO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Catalão, como parte dos requisitos para obtenção do título de **MESTRE EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**.

Área de Concentração: Engenharia de Operações e Processos Industriais.

Orientador: Prof. Dr. José Waldo Martínez Espinosa

**Catalão – GO
2019**

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do
Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFG.

YUSUF MARINHO, DOUGLAS
PRODUÇÃO DE ADUBOS DE LIBERAÇÃO LENTA UTILIZANDO A
BRIQUETAGEM DE FINOS DE CALCÁRIO E MELADO DE CANA:
ESTUDOS INICIAIS [manuscrito] / DOUGLAS YUSUF MARINHO. -
2019.
LXX, 70 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. JOSÉ WALDO MARTÍNEZ ESPINOSA.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, Unidade
Acadêmica Especial de Engenharia e Administração, Catalão,
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Catalão, 2019.
Bibliografia. Apêndice.
Inclui siglas, fotografias, abreviaturas, gráfico, tabelas, lista de
figuras, lista de tabelas.

1. Aglomeração mineral. 2. Adubos de liberação lenta. 3. Calcário. 4.
Briquetagem. 5. Mudanças florestais. I. WALDO MARTÍNEZ ESPINOSA,
JOSÉ, orient. II. Título.

CDU 658.5

FENG

UAE de Engenharia

Serviço Público Federal
Universidade Federal de Goiás – UFG
Regional Catalão – RC

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção

**ATA DA SESSÃO DE JULGAMENTO DA DEFESA PÚBLICA DE DISSERTAÇÃO DE
DOUGLAS YUSUF MARINHO**

Aos doze dias do mês de março do ano de dois mil e dezenove (12/03/2019), às 09h00mim (nove horas), na Sala do Mestrado em Engenharia de Produção, no Bloco "O" da Regional Catalão/UFG, teve lugar a 5ª Sessão Pública de Julgamento da Dissertação de Mestrado de Douglas Yusuf Marinho, matrícula nº 2017101611, CPF nº 030.243.491-70, intitulada **"PRODUÇÃO DE ADUBOS DE LIBERAÇÃO LENTA UTILIZANDO A BRIQUETAGEM DE FINOS DE CALCÁRIO E MELADO DE CANA: ESTUDOS INICIAIS"**. A Banca Examinadora foi composta, conforme Portaria nº 14 da FENG – RC/UFG, pelos Prof. **Dr. José Waldo Martínez Espinosa** (Orientador) CPF 026.599.958-85, **Prof. Dr. Marco Paulo Guimarães** (Membro Interno), CPF 585.537.381-91 e pelo **Prof. Dr. Mário Godinho Júnior** (Membro Externo ao programa), CPF nº 178.761.958-30. Os examinadores arguíram na ordem citada, tendo o mestrando respondido livremente conforme seus entendimentos acerca do assunto. Às 11 horas e 35 minutos a Banca Examinadora passou ao julgamento, em Sessão Secreta, tendo o mestrando obtido os seguintes resultados:

Prof. Dr José Waldo Martínez Espinosa –
Aprovado (X) Reprovado ()

Ass. Waldo Martínez E

Prof. Dr. Marco Paulo Guimarães –
Aprovado (X) Reprovado ()

Ass. Guimarães

Prof. Dr. Mário Godinho Júnior –
Aprovado (X) Reprovado ()

Ass. [Assinatura]

Obs.: REALIZAR AS CORREÇÕES SUGERIDAS PELA BANCA.

Presidente da Banca – Prof. Dr. José Waldo Martínez Espinosa – Ass. Waldo Martínez E

Resultado final: APROVADO (X) REPROVADO ()

Reaberta a Sessão Pública, o Presidente da Banca Examinadora proclamou o resultado e encerrou a Sessão, da qual foi lavrada a presente Ata que segue assinada pelos membros da Banca Examinadora, pelo Mestrando examinado e pela Secretária do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção – RC/UFG.

Assinatura do Mestrando Douglas Yusuf Marinho
Secretaria do PPGEPC-RC/UFG [Assinatura]

Obs: O(a) aluno(a) deverá encaminhar, no prazo de até 30 (trinta) dias, a contar da data da Defesa Pública, os exemplares definitivos da Dissertação, para arquivamento e devidos encaminhamentos, conforme as normas definidas pelo PPGEPC-RC/UFG.

*Ao progresso da
humanidade, de modo a
construirmos um mundo
melhor.*

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, professor Dr. José Waldo Martínez Espinosa pela orientação decisiva para tornar realidade este trabalho.

Ao meu ex-professor, Antônio Zamunér Filho, pelos conselhos e a constante disponibilidade em ajudar.

À minha família, pela paciência e apoio moral.

À minha companheira, Josiana Gonçalves Ribeiro, por auxiliar nos momentos de necessidade.

À minha colega de mestrado, Lays Capingonte, pela parceria nas tarefas durante todo o curso.

Aos professores André Resende e Marco Paulo Guimarães, por se disponibilizarem em ajudar sob qualquer necessidade.

Ao apoio financeiro da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa de estudos.

“Na vida, não existe nada a temer, mas a entender.”

Marie Curie

MARINHO, D. Y. **Produção de Adubos de Liberação Lenta Utilizando a Briquetagem de Finos de Calcário e Melado de Cana: Estudos Iniciais**. 70p. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Catalão, Catalão, GO. 2019.

RESUMO

A aglomeração mineral é uma técnica utilizada para a união entre partículas minerais de granulometria fina. Ela visa melhorar as condições de aplicação, armazenamento e transporte. O calcário, por sua vez, é uma rocha composta principalmente por cálcio e muito utilizada como corretivo de solo, uma vez que possui capacidade de elevação do pH de solos ácidos, além de fornecer Ca e Mg às plantas. Solos ácidos são maléficos ao pleno desenvolvimento das plantas, uma vez que interferem negativamente na absorção de nutrientes. O Brasil é o maior produtor de cana do mundo, apresentando grande potencial na produção de melado de cana. Por outro lado, o melado, além de ser um eficiente aglomerante, apresenta também capacidade de adubação, visto que possui em sua composição minerais essenciais às plantas, como é o caso do Fe, Ca, K, Na, P, Mg e Cl. Adubos de liberação lenta são aqueles que tornam, gradualmente, disponíveis nutrientes às plantas. Esses adubos são comprovadamente mais eficientes que os tradicionais por serem menos suscetíveis à lixiviação dos nutrientes, evitando perdas e contaminações. Além disso, grandes desmatamentos provocados em nossos biomas, seja pela exploração agrícola ou pelo crescimento urbano, aliado a um maior controle das áreas de preservação ambiental gerados pela lei 12.727 de 2012, criam um potencial crescimento na demanda por mudas de plantas nativas, principal nicho de aplicação dos adubos de liberação lenta. Sendo assim, este trabalho visa propor, através de testes preliminares, a criação de um adubo de liberação lenta, composto por finos de calcário (<400#) e melado de cana, gerado a partir da aglomeração mineral por meio da briquetagem. Para isso, os briquetes gerados foram submetidos a testes de resistência mecânica, como testes de resistência a queda, a compressão e à ação da água. Foram utilizados os parâmetros técnicos de confecção de briquetes que apresentaram melhores resultados nos testes de resistência, conforme trabalhos existentes. A pressão utilizada para briquetagem é de 3 toneladas durante um tempo de 50 segundos. A confecção dos briquetes se deu em dois tamanhos diferentes, em função da massa de calcário utilizada, de 5 e 7,5 g. A porcentagem de melado de cana utilizada foi de 8,5% sobre a massa de calcário. Analisou-se também o efeito do tempo de cura sobre a resistência desses briquetes, variando-o entre zero, cinco e dez dias. Os resultados evidenciaram que há um incremento de resistência dos briquetes com o processo de cura. A perda de umidade gerada com a cura permite a cristalização da sacarose, que contribui para o maior endurecimento dos briquetes. A maior resistência se reflete no aumento de tempo de degradação sob a ação da água, o que possibilitaria sua utilização como adubos de liberação lenta. Ressalta-se que, testes em campo seriam importantes para comprovar sua eficácia, com a realização de experimentos envolvendo uma ou mais espécies de plantas, embora não seja esse o objetivo deste trabalho.

Palavras-chave: Aglomeração mineral, Adubos de liberação lenta, Calcário, Briquetagem, Mudas florestais.

MARINHO, D. Y. **Production of Slow Release Fertilizers Using the Briquetting of Limestone Fines and Sugarcane Molasses: Initial Studies.** 70p. Master's Dissertation, Federal University of Catalão, Catalão, GO. 2019.

ABSTRACT

Mineral agglomeration is a technique used to join mineral particles of fine granulometry. It aims to improve the conditions of application, storage and transport. The limestone, in turn, is a rock composed mainly of calcium and widely used as soil corrective, since it has the capacity to raise the pH of acid soils, besides providing Ca and Mg to the plants. Acidic soils are harmful to the full development of plants, since they negatively interfere with the absorption of nutrients. Brazil is the largest producer of sugarcane in the world, presenting great potential in the production of sugarcane molasses. On the other hand, the molasses, besides being an efficient agglomerant, also presents capacity of fertilization, since it has in its composition minerals essential to the plants, as it is the case of Fe, Ca, K, Na, P, Mg and Cl. Slow release fertilizers are those that gradually make nutrients available to plants. These fertilizers are proven to be more efficient than traditional ones because they are less susceptible to nutrient leaching, avoiding losses and contamination. In addition, large deforestation caused in our biomes, whether by agricultural exploration or urban growth, together with greater control of the environmental preservation areas generated by law 12.727 of 2012, create a potential growth in the demand for seedlings of native plants, the main niche application of slow release fertilizers. Thus, this work aims to propose, through preliminary tests, the creation of a slow - release fertilizer, composed of limestone (<400 #) and cane molasses, generated from mineral agglomeration by briquetting. For this, the generated briquettes were submitted to tests of mechanical resistance, such as tests of resistance to fall, compression and water action. The technical parameters of briquetting were used that presented better results in the resistance tests, according to existing works. The pressure used for briquetting is 3 tons for a time of 50 seconds. The briquettes were made in two different sizes, depending on the mass of limestone used, of 5 and 7.5 g. The percentage of cane molasses used was 8.5% of the limestone mass. The effect of curing time on the resistance of these briquettes was also analyzed, ranging from zero, five and ten days. The results showed that there is an increase in resistance of the briquettes with the curing process. The loss of moisture generated with the cure allows the crystallization of the sucrose, which contributes to the greater hardening of the briquettes. The higher resistance is reflected in the increase of degradation time under the action of the water, which would allow its use as slow release fertilizers. It should be emphasized that field trials would be important to prove their efficacy by conducting experiments involving one or more plant species, although this is not the objective of this study.

Keywords: Mineral agglomeration, Slow release fertilizers, Limestone, Briquetting, Forest saplings.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Redução granulométrica visando a liberação do mineral de interesse.....	18
Figura 2 - Típica da rota de processamento de minérios.	19
Figura 3 - Graus de acidez e alcalinidade encontrados na maioria dos solos agrícolas.....	22
Figura 4 - Efeito do pH do solo sobre o desenvolvimento das raízes.	23
Figura 5 – Britadores (a) de mandíbula, (b) giratório e (c) cônico, geralmente utilizados no processamento do calcário.	25
Figura 6 - Alimentador operando juntamente com uma prensa de rolos.	29
Figura 7 - Relação entre a saúde e crescimento da planta e a quantidade de nutrientes disponíveis.....	33
Figura 8 – Mecanismo de funcionamento dos adubos de liberação controlada.....	36
Figura 9 - Fluxograma do processo.	42
Figura 10 - Molde de briquetes utilizado	43
Figura 11 - Prensa utilizada na confecção dos briquetes de calcário.	43
Figura 12 - Procedimento para o teste de quedas.	44
Figura 13 - Etapa de imersão do briquete do calcário em água.	45
Figura 14 - Manômetro utilizado nos testes de compressão uniaxial.	46
Figura 15. Imagem do manômetro e os pontos de coleta das coordenadas para o cálculo da carga de ruptura.	47
Figura 16 – Imagens dos briquetes formados: (a) e (b) representando os briquetes com 5 g de calcário e (c) e (d) aqueles com 7,5 g de calcário.	49
Figura 17 - Comparação entre os resultados para os testes de queda dos briquetes com 0 dias de cura.....	50
Figura 18 - Resultados para o teste de queda obtidos por Barros (2016).	50
Figura 19 - Comparação entre a perda de umidade para os briquetes com 5 g e 7,5 g de calcário.	53
Figura 20 – Resultados do teste de compressão uniaxial para os briquetes com diferentes tempos de cura.....	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Média de alguns dados relacionados aos briquetes.....	48
Tabela 2 – Resultados dos testes de queda para os briquetes com 5 dias de cura.	51

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Tipos de aglomerantes e principais características.	30
Quadro 2 - Alguns aglutinantes utilizados na aglomeração de partículas finas.	31
Quadro 3 - Comparação entre o efeito da queda para briquetes com diferentes tempos de cura.	52
Quadro 4 - Briquetes com 5,0 e 7,5 g de calcário e 0 dias de cura. Resultados para o teste de resistência a ação da água com (a) 1 s; (b) 5 min; (c) 10 min; (d) 15 min; (e) 20 min e (f) 30 min.	56
Quadro 5 - Briquetes com 5,0 e 7,5 g de calcário e 5 dias de cura. Resultados para o teste de resistência a ação da água com (a) 1 s; (b) 5 min; (c) 10 min; (d) 15 min; (e) 20 min; (f) 30 min; (g) 40 min e (h) 1 h.	57
Quadro 6 -Briquetes com 5,0 e 7,5 g de calcário e 10 dias de cura. Resultados para o teste de resistência a ação da água com (a) 1 s; (b) 5 min; (c) 10 min; (d) 15 min; (e) 20 min; (f) 30 min; (g) 40 min e (h) 1 h.	58

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AAPFCO - *Association of American Plant Food Control Officials*

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento

IBA - Indústria Brasileira de Árvores

IPNI - *International Plant Nutrition Institute*

MMA - Ministério do Meio Ambiente

UNIFERTIL - Universal de Fertilizantes

USAID – *United States Agency International Development*

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1

1.1 Introdução	15
1.2 Justificativa.....	16
1.3 Objetivos	17
1.3.1 <i>Objetivos gerais</i>	17
1.3.2 <i>Objetivos específicos</i>	17

CAPÍTULO 2

Revisão Bibliográfica.....	18
2.1 Processamento mineral.....	18
2.2 Rochas sedimentares.....	20
2.3 Calcário.....	21
2.4 Efeitos do pH do solo	22
2.5 Utilização do calcário.....	24
2.6 Lavra e processamento	25
2.7 Aglomeração mineral.....	26
2.7.1 <i>O processo de aglomeração</i>	27
2.7.2 <i>Briquetagem com e sem aglomerantes</i>	29
2.7.3 <i>Avaliações da qualidade dos briquetes</i>	31
2.8 Produção de cana-de-açúcar no Brasil.....	32
2.9 Nutrição das plantas.....	32
2.10 Adubos de liberação lenta	34
2.10.1 <i>Demanda por mudas de plantas nativas</i>	38
2.11 Culturas em que se aplicam adubos de liberação lenta.....	38
2.11.1 <i>Mudas de plantas do Cerrado</i>	38
2.11.2 <i>Mudas de seringueira</i>	39

CAPÍTULO 3

Metodologia.....	41
-------------------------	-----------

3.1 Teste de quedas.....	43
3.2 Teste de resistência a ação da água	44
3.3 Teste de compressão	45
3.3.1 <i>Processamento das imagens</i>	46
3.4 Análise da perda de umidade	47

CAPÍTULO 4

Resultados e Discussões.....	48
4.1 Teste de queda	49
4.2 Perda de umidade	52
4.3 Teste de compressão	54
4.4 Teste de resistência à ação da água	55

CAPÍTULO 5

Considerações Finais.....	59
----------------------------------	-----------

CAPÍTULO 6

Referências.....	62
-------------------------	-----------

APÊNDICES

APÊNDICE A.....	63
------------------------	-----------

CAPÍTULO 1

1.1 Introdução

Produzir mudas de espécies nativas é um negócio que vem crescendo ano a ano no Brasil, impulsionado, principalmente, pelo rigor do Novo Código Florestal (SILVA et al., 2015). O modo tradicional de adubação traz grandes perdas relacionadas à lixiviação. A adubação de liberação lenta surge como uma alternativa a esse problema, uma vez que permite a liberação gradual de nutrientes para as plantas (DUTRA et al., 2016). A briquetagem é um método de aglomeração mineral que visa promover a coesão de partículas minerais desagregadas de granulometria fina. A forma de aglomeração, geralmente, se dá através da aplicação de pressão, podendo também ser utilizados produtos aglomerantes que facilitam a adesão entre as partículas. Dentre esses aglomerantes estão os aglomerantes orgânicos, sendo o melado e o melaço de cana os mais utilizados na indústria mineira. O baixo preço devido à alta disponibilidade desses produtos e sua eficiência justificam a sua grande utilização (DUTRA, 2015).

O calcário é uma rocha sedimentar formada principalmente nos oceanos (HARRISON, 1993). Ele é composto basicamente por cálcio e magnésio, dois dos nutrientes mais importantes para o pleno desenvolvimento das plantas (AMARO, 2018). O calcário ainda é encontrado fartamente no mercado, sendo de baixo valor aquisitivo. Em alguns processos produtivos o calcário ainda é tratado como rejeito, oferecendo grande oportunidade de reaproveitamento econômico (GARCIA et al., 2015).

Este trabalho visa, de modo preliminar, propor uma opção de adubo de liberação lenta em forma de briquete, composto por calcário e melado de cana. Para isso, os briquetes, depois de confeccionados, foram submetidos a testes de resistência mecânica e à ação da água. A aglomeração das partículas, além de tornar mais fácil seu manuseio e armazenamento, reduz a superfície de contato do material, tornando-o menos suscetível à lixiviação.

1.2 Justificativa

As novas leis ambientais têm acirrado a cobrança pela recuperação de áreas degradadas, o que tem intensificando a demanda por mudas florestais. Essas mudas necessitam serem adequadamente adubadas para se desenvolverem plenamente, e assim, apresentarem qualidade e resistência, aumentando suas chances de sobrevivência pós-viveiro. No entanto, a adubação feita com produtos mais racionais poderia atender a todo e qualquer tipo de plantação, não se restringindo às mudas de viveiros.

A adubação convencional gera perdas devido à lixiviação do adubo, uma vez que depois de aplicado encontra-se totalmente disponível às plantas, que não conseguem absorvê-los de uma só vez. A lixiviação do adubo consiste na dissolução e carreamento de nutrientes, pela água, que acabam não sendo aproveitados pelas plantas.

Um método utilizado para sanar esse problema é a utilização de adubos de liberação lenta, que são geralmente confeccionados com uma película envoltória que permite evitar esse comportamento.

No mesmo sentido, existem diversos estudos que comprovam a eficácia dos adubos de liberação lenta, como é o caso dos trabalhos de Gomes et al. (2011); Muniz et al. (2013); Rós, Araújo e Narita (2013); Pagliarini, Castilho e Alves (2014); Rossa et al. (2015); Simão (2017); dentre outros, justificando a importância de se investir neles. Os adubos de liberação lenta podem trazer, sobretudo, economia e melhor utilização dos recursos naturais.

Dentre a gama de nutrientes necessários ao desenvolvimento da planta estão o Ca e o Mg, elementos abundantemente encontrados no calcário. O calcário, devido a sua disponibilidade e economicidade, além de sua composição, pode ser considerado um interessante adubo para as plantas, o que justificaria também sua utilização. Em alguns casos, o calcário de granulometria fina é visto como um rejeito, tornando-o um bom candidato a adubo.

O melado de cana é um dos aglomerantes mais empregados na indústria mineira. E, sendo o Brasil o maior produtor de cana do mundo, é natural empregá-lo também neste trabalho, tendo em vista sua indicação por Barros (2016) como melhor incrementador da resistência de briquetes de calcário se comparado ao melaço de soja. Além disso, o melado é capaz de fornecer às plantas uma grande variedade de nutrientes essenciais a elas.

O surgimento de um adubo de liberação lenta, com um processo de fabricação mais barato, poderia possibilitar a sua difusão e uso. Poderia também ser utilizado na agricultura, tendo em vista seu alto preço. Devido a esse fator, seu uso é restringido, tornando-o pouco atrativo quando requeridas grandes quantidades.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivos gerais

Avaliar a aglomeração de finos de calcário, por meio da briquetagem, em dois diferentes tamanhos, de mesmo formato, variando o tempo de cura, de modo a sugerir uma opção diferente como adubo de liberação lenta.

1.3.2 Objetivos específicos

- Aglomerar finos de calcário em dois diferentes tamanhos: com 5,0 g e 7,5 g de calcário.
- Utilizar as melhores proporções de aglomerantes, água e melado de cana, descritas no trabalho de Barros (2016).
- Analisar a variação da resistência e perda de umidade dos briquetes para os diferentes períodos de cura.
- Analisar a possibilidade de utilização como briquetes de adubo de liberação lenta e propor ideias para trabalhos futuros.

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Processamento mineral

O processamento mineral possui como função primordial: preparar o minério, depois de extraído através das operações de lavra, para a retirada do metal de valor, ou, adequando-o para comercialização como produto final. Os dois principais passos no processamento mineral são, conforme Wills e Finch (2015):

- Redução granulométrica: Fragmentação mineral que visa a liberação do mineral de interesse (com valor econômico) dos demais minerais (rejeito) (Figura 1).
- Separação física: Ocorre a separação do mineral de interesse da ganga. Nesse processo visa-se o enriquecimento ou concentração do mineral de interesse e descarte da ganga como rejeito.

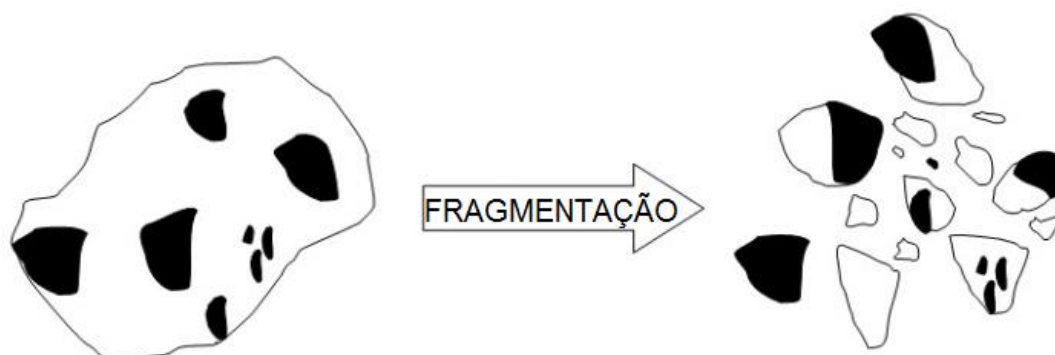


Figura 1 - Redução granulométrica visando a liberação do mineral de interesse.
Fonte: Grewal (2018).

Após as partículas minerais de interesse serem liberadas utilizando a redução granulométrica, elas devem ser separadas das demais. A separação física é feita explorando-se as diferenças nas propriedades físicas dos minerais (WILLS e FINCH, 2015). Uma típica rota de processamento mineral é ilustrada na Figura 2.

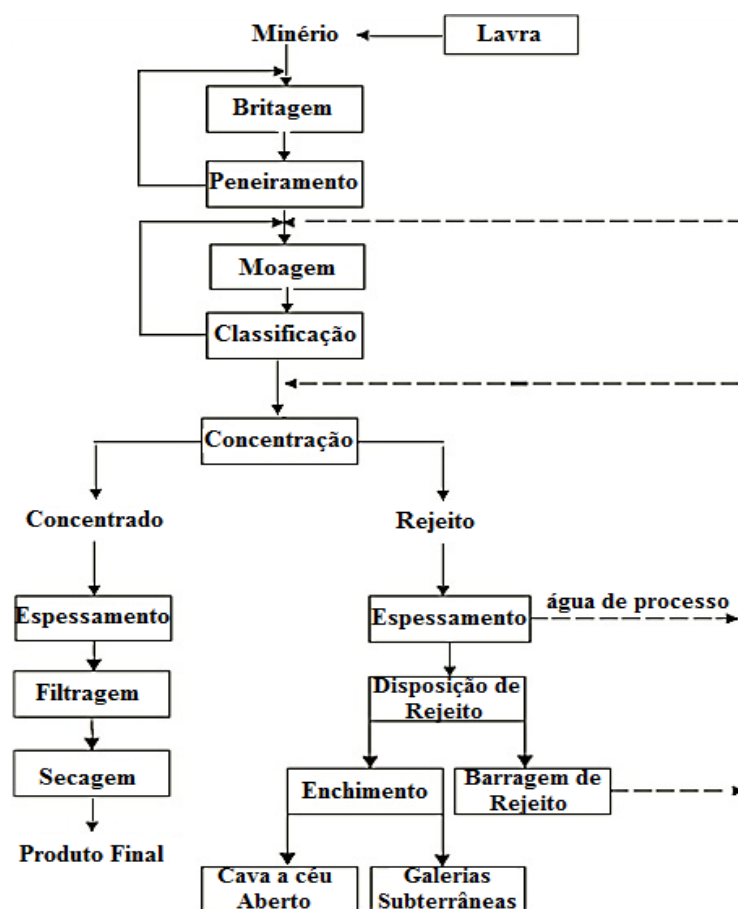


Figura 2 - Típica da rota de processamento de minérios.
Fonte: Adaptado de Luz, Sampaio e França (2010).

Por exemplo, Wills e Finch (2015) e Revuelta (2018) listam as principais propriedades físicas como sendo:

1. Ótica: A mais óbvia propriedade física explorada no beneficiamento mineral é a aparência. Minerais com diferentes composições mineralógicas podem ser visualmente diferentes, desta forma podem ser separados através da catação ou de algum sistema automatizado

com sensores. A separação se dá com base em características como cor, textura e propriedades radioativas.

2. Densidade: A separação por densidade, também chamada de concentração gravimétrica, é baseada no movimento diferencial de partículas minerais em um meio líquido. Isto se deve à diferença de densidade e propriedades hidráulicas. Nos separadores de meio denso, as partículas afundam ou boiam em um líquido denso com densidade intermediária entre as partículas a serem separadas.
3. Propriedades superficiais: A flotação é um versátil meio de concentração, que tem por princípio a ligação de partículas minerais a bolhas de ar em uma polpa em agitação. O ajuste da química da polpa através da adição de vários reagentes químicos possibilita tornar os minerais de interesse repelentes a água (hidrofóbicos) e os minerais de ganga ávidos por água (hidrofílicos). Permitindo dessa forma, a elevação dos minerais de interesse juntamente com as bolhas até a camada de espuma na superfície da polpa.
4. Susceptibilidade magnética: Se as propriedades magnéticas do mineral de valor diferirem daquelas da ganga, então eles podem ser separados com a aplicação de um campo magnético adequado, por meio de um separador magnético. Desta forma, a concentração magnética se utiliza da diferença de susceptibilidade magnética entre os minerais.
5. Condutividade elétrica: A separação eletrostática se baseia na diferença das características de ionização dos minerais quando submetidos a um campo elétrico. Neste caso, a alta tensão utilizada na concentração dependerá da condutividade elétrica dos minerais a serem separados que, por sua vez, devem distinguir-se entre condutores e não condutores.

2.2 Rochas sedimentares

As rochas sedimentares são formadas por sedimentos originados pelos processos de intemperismo e erosão de outras rochas, que sofrem sedimentação e diagênese, ou de materiais de origem biogênica, podendo ainda surgir da precipitação química de minerais (CARNEIRO, 2009).

O processo de intemperismo compreende modificações de ordem física e química que decompõem e desintegram a rocha em fragmentos. Estes fragmentos formados são então desprendidos das rochas e transportados pela erosão e depositados em camadas de sedimentos. Dois tipos de sedimentos podem ser gerados, os sedimentos clásticos e os sedimentos químicos

e bioquímicos. O primeiro se refere a sedimentos depositados fisicamente, já ao segundo as novas substâncias que são formadas através da precipitação química graças aos íons dissolvidos na água provenientes da dissolução de alguns componentes da rocha também por minerais não dissolvidos de restos de organismos ou ainda por minerais precipitados por processos biológicos (PRESS et al., 2006).

O conjunto de transformações físico-químicas que convertem os sedimentos em rochas é denominado diagênese (NAIME e SPILKI, 2012). Esta pode ocorrer de duas formas, por compactação, em que os sedimentos das camadas inferiores são adensados devido ao peso dos sedimentos sobrejacentes, ou então por cimentação, quando ocorre precipitação de minerais ao redor dos grãos, agregando uns aos outros (PRESS et al., 2006).

A rocha carbonática é um tipo de rocha sedimentar, cujo surgimento se dá por processos orgânicos e inorgânicos de acumulação de minerais carbonáticos (PRESS et al., 2006). Em termos mineralógicos, apresentam como principais componentes a calcita (CaCO_3) e a dolomita [$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$]. Também podem ocorrer outros minerais como ankerita [$\text{Ca}(\text{Mg,Fe,Mn})$], siderita (FeCO_3) e magnesita (MgCO_3), embora com menor proporção (VIDAL et al., 2005).

2.3 Calcário

Segundo Sampaio e Almeida (2008), talvez não haja outros tipos de rocha com uma variedade de utilização tão abrangente quanto o calcário (calcítico e dolomítico). As aplicações são diversas, desde a indústria civil, com materiais para agregados (cimento e cal), servindo como rocha ornamental, fundentes, abrasivos, corretivos de solos, entre outros.

O calcário é uma rocha sedimentar que pode apresentar duas origens distintas: processo biogênico ou precipitação química. A primeira forma é a mais recorrente, a rocha formada consiste de exoesqueletos e fragmentos de carbonato, provenientes de diversos organismos marinhos como moluscos, corais e algas (HARRISON, 1993). Já a segunda forma deriva de um processo inorgânico de precipitação química ocorrendo onde há a saturação das águas dos mares por carbonato de cálcio. A maior parte do calcário existente é de origem orgânica (SAMPAIO e ALMEIDA, 2008).

Segundo Tomás (2007), o calcário pode ser classificado conforme a quantidade de óxido de magnésio (MgO) presente na rocha, como:

- Calcário calcítico: teor de MgO menor que 5%;
- Calcário magnesiano: teor de MgO entre 5 e 12%;

- Calcário dolomítico: teor de MgO acima de 12%.

O calcário possui como principal constituinte mineralógico o carbonato de cálcio (CaCO_3) na forma da calcita ou aragonita, sendo que se diferenciam somente pela estrutura cristalina (TOMÁS, 2007). Suas origens datam desde o Pré-Cambriano até o Holoceno (SAMPAIO e ALMEIDA, 2008).

A teoria mais aceita é de que os calcários magnesianos ou dolomíticos surgiram com as trocas de cálcio, do calcário calcítico, pelo magnésio, provenientes das águas com alto teor de sais de magnésio (SAMPAIO e ALMEIDA, 2008). Segundo Bliss (2008), depósitos sedimentares de calcário podem ser muito extensos, cobrindo centenas de quilômetros quadrados, e podem ser relativamente uniformes em espessura e qualidade. Desta forma, as lavras de calcário tendem a ter uma longa vida útil. Alguns desses empreendimentos produzem vários produtos que não apresentam qualidade suficiente que corresponda às especificações para usos mais nobres, podendo ser utilizados como agregados da construção civil.

2.4 Efeitos do pH do solo

O termo pH está relacionado a acidez ou a alcalinidade relativa de uma substância. A escala de pH abrange uma escala que vai de 0 a 14. Nessa escala, um valor de pH igual a 7,0 é neutro, enquanto valores abaixo de 7,0 e acima de 7,0, são considerados ácidos e básicos, respectivamente. O pH da maioria dos solos produtivos varia entre os valores de 4,0 a 9,0, como mostrado na Figura 3 (International Plant Nutrition Institute - IPNI, 1998).

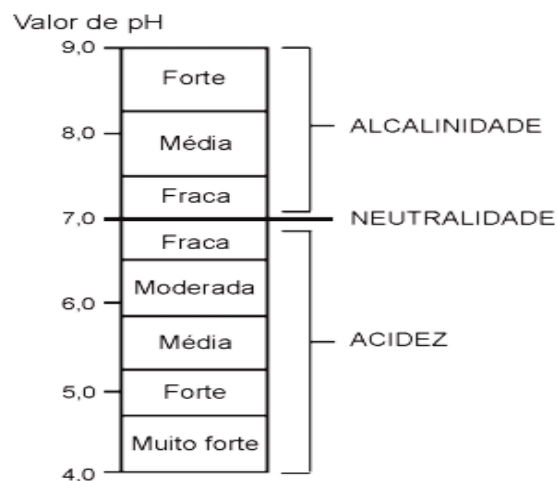


Figura 3 - Graus de acidez e alcalinidade encontrados na maioria dos solos agrícolas. Fonte: IPNI (1998).

Segundo Savoy (2010), um dos problemas causados pela acidez do solo é a toxidez gerada pelo alumínio (Al). Em solos com pH menor que 5,5, o alumínio e o manganês (Mn), que são muito solúveis, ficam disponíveis na solução do solo, causando toxidez nas plantas. Outra consequência da acidez do solo é a diminuição da disponibilidade de alguns nutrientes, como o fósforo (P), que é fixado pelo Al, ficando indisponível para a absorção pelas plantas. Portanto, a condição ácida do solo implica diretamente na redução da produtividade de uma lavoura (Figura 4).

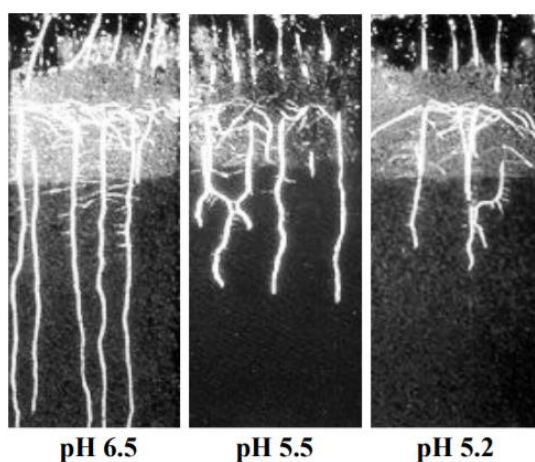


Figura 4 - Efeito do pH do solo sobre o desenvolvimento das raízes.
Fonte: Savoy (2010).

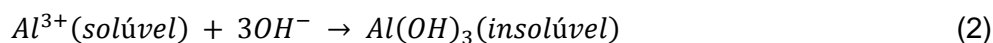
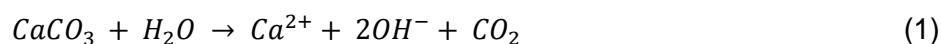
Diversos estudos têm relacionado o pH do solo com a riqueza de espécies de plantas, como é o caso do trabalho de Crespo-Mendes et al. (2019). Nesse estudo, os autores analisaram dados relacionados a flora brasileira, separando-a em biomas e microrregiões. Ao final do estudo, encontraram evidências no sentido de que, uma elevação ou redução do pH ótimo do solo, estaria relacionado a redução da ocorrência do número de espécies de plantas, o que, conseqüentemente, impacta negativamente na biodiversidade.

Para corrigir a acidez e evitar as consequências de um solo ácido, o agricultor pode lançar mão de materiais chamados de corretivos de solo. Os corretivos nada mais são que materiais alcalinos que neutralizam as substâncias ácidas presentes no solo. Esta prática é chamada de calagem (Universal de Fertilizantes - UNIFERTIL, 2014). Ressalta-se que, embora o assunto

tenha sido abordado devido a sua relação como a justificativa deste trabalho, os aspectos relacionados ao desenvolvimento das plantas em si, não são o foco deste trabalho.

2.5 Utilização do calcário

A calagem é, sem dúvidas, uma das práticas que mais auxilia no aumento de eficiência dos adubos e por consequência, da produtividade e rentabilidade agropecuária (LOPES et al., 1990). Esta prática é feita com a utilização de calcário, cuja função principal é de elevar o pH de solos ácidos, reduzindo dessa forma a concentração de alumínio na solução do solo. O calcário reduz a solubilidade do Al através de duas reações, segundo o IPNI ((1998), de acordo com as Equações (1) e (2).



Outros benefícios secundários com a neutralização do solo são, segundo Prochnow (2014):

- Reduz a toxidez de alumínio e de outros metais;
- Melhora as condições físicas, químicas e biológicas do solo;
- Estimula a atividade microbiana no solo;
- Aumenta a disponibilidade de vários nutrientes;
- Fornece cálcio e magnésio para as plantas;
- Melhora a fixação de N pelas leguminosas.

O cálcio é um importante mineral para a nutrição das plantas. Muitos solos contêm esse elemento em quantidades insuficientes, limitando o crescimento das plantas. Desempenha papel fundamental na parede celular vegetal, sendo importante também para o desenvolvimento das raízes, uma vez que plantas com deficiência de cálcio apresentam raízes mais curtas (SCHWARTZKOPF, 1972).

Oliveira et al. (2014), analisam 4 rejeitos de calcário provenientes de diferentes regiões de Minas Gerais, visando elucidar os efeitos gerados por esses rejeitos no pH, e também na fertilidade do solo. Ao final, puderam concluir que as características químicas do solo foram melhoradas, impactando positivamente sobre a fertilidade dele. Esse tipo de trabalho reforça a ideia de que resíduos de calcário surgem como alternativas ao uso comercial de material descartado.

2.6 Lavra e processamento

Conforme Sampaio e Almeida (2008), a lavra do calcário se dá em grande parte por lavra a céu aberto (chamadas pedreiras), sendo que por uma série de outras razões, também pode ocorrer pelo método subterrâneo. As operações unitárias para a lavra são:

- Remoção do capeamento;
- Perfuração;
- Desmonte por explosivos;
- Transporte do material até a usina.

Ainda, segundo Sampaio e Almeida (2008), o processamento do carbonato de cálcio se dá conforme o requerimento do produto final. Podendo variar dependendo do uso e especificação do calcário. De forma geral, os métodos mais usuais para a obtenção do carbonato de cálcio são:

- Lavra seletiva;
- Catação manual;
- Britagem;
- Peneiramento.

A abrasividade do calcário brasileiro é baixa e apresentam de baixa a média resistência a britagem e moagem. A britagem é realizada em várias fases, combinando britadores de mandíbulas ou giratórios e utilizando britadores cônicos como secundários ou terciários, (DELBONI JR, 2008), conforme Figura 5.

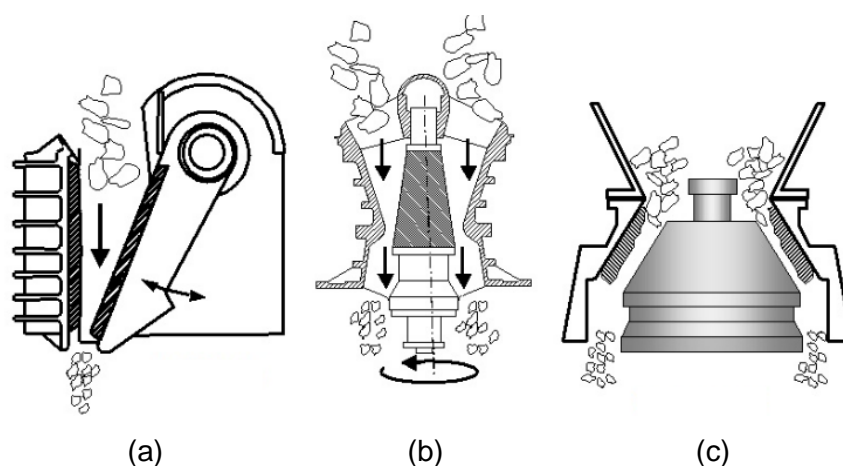


Figura 5 – Britadores (a) de mandíbula, (b) giratório e (c) cônico, geralmente utilizados no processamento do calcário.

Fonte: Adaptado de Grewal (2018).

Quando o carbonato de cálcio, especialmente o calcário, é requerido para aplicações mais nobres, como para indústrias de borracha, tintas e papel, circuitos de processamento mais complexos são necessários. A moagem é feita de forma a haver a menor contaminação possível de ferro, para isto utiliza-se moinhos tipo Raymond, ou até mesmo autógenos e/ou bolas, com revestimento e corpos moedores especiais (DELBONI JR, 2008).

Tanto o processamento a seco quanto o a úmido podem ser utilizados. O processamento a seco visa a geração de material mais grosseiro na faixa de 2 a 3 μm . Por outro lado, o processamento a úmido visa à obtenção de um produto ultrafino ($< 2 \mu\text{m}$), ou ainda, quando o produto final é utilizado em forma de polpa. Em certos casos, se faz necessárias etapas adicionais, como a flotação e a separação magnética, para a eliminação de impurezas. O calcário ultrafino possui uma aplicação mais nobre, devido ao maior custo envolvido no processo (CARVALHO e ALMEIDA, 1997).

A depender da rocha calcária e do modo de processamento, é necessária uma etapa de moagem que possui potencial geração de material fino (granulometria inferior a 400#). Esse material fino não possui viabilidade econômica nos setores produtivos agrícola, metalúrgico e de calcinação. Isso decorre da facilidade com que pode ser transportado pelo vento, configurando um passivo ambiental quando empregado na agricultura ou, até mesmo, ocasionando problemas quanto a percolação de gases nos altos-fornos devido a sua lenta sedimentação (GARCIA et al., 2015).

2.7 Aglomeração mineral

Aglomeração mineral é um termo geralmente aplicado para indicar um conjunto de operações aplicadas sobre determinado material de granulometria fina, destinados a transformá-lo em corpos coesos através da consolidação e ligação rígida das partículas utilizando-se de mecanismos físicos ou químicos, de forma a adequá-lo ao uso, podendo variar em forma e tamanho (CARVALHO e BRINCK, 2010).

A aglomeração está longe de ser uma técnica nova. No entanto, ela vem ganhando popularidade com o aumento no número de indústrias, especialmente nas últimas décadas, à medida que os diversos benefícios oferecidos se tornam cada vez mais evidentes (FEECO International, 2016).

Este processo surge com a necessidade de se aproveitar as partículas finas provenientes do beneficiamento mineral (DUTRA, 2015). O termo “granulometria fina” pode ter diferentes

significados, dependendo do mineral de que se trata. No beneficiamento de carvão, é considerado material fino aquele que apresente granulometria abaixo de 0,6 mm, enquanto que no beneficiamento de minério de ferro o termo se aplica a frações menores que 20 μm (CARVALHO e BRINCK, 2010).

Conforme Carvalho e Brinck (2010), as aplicações em que mais comumente se utilizam da aglomeração, são:

- a) O concentrado ou minério de ferro de granulometria fina, de modo que não haja prejuízos nos fornos metalúrgicos no que tange a permeabilidade de carga e condições de reação gás-sólido.
- b) Material fino proveniente de outros processos mineiros, caracterizados como resíduos ou subprodutos, de forma a permitir sua reutilização ou reciclagem.
- c) Materiais como algodão, madeira e papel bem como resíduos metálicos (cobre, ferro, etc.) permitindo facilitar ou permitir o transporte e/ou reciclagem.

Os principais métodos de aglomeração utilizados pela indústria minero-metalúrgica são: a sinterização, a pelotização e a briquetagem (DUTRA, 2015). O método escolhido dependerá principalmente de parâmetros como características físicas, químicas, o investimento, custo operacional, entre outros (CARVALHO e BRINCK, 2010). Segundo a FEECO International (2016), dentre os tipos de aglomeração, todos oferecem suas próprias vantagens e desvantagens, mas de forma geral, podem-se constatar os seguintes benefícios:

- Redução significativa da poeira;
- Melhora do manuseio;
- Melhor utilização da matéria prima, transformando o rejeito em um produto vendável;
- Melhora das características do produto.

2.7.1 O processo de aglomeração

A aglomeração que ocorre na briquetagem provém da compressão a que as partículas finas são submetidas, com ou sem ajuda de ligante, adequando quanto à forma, tamanho e a parâmetro mecânicos (DUTRA, 2015).

O enrijecimento das leis ambientais, a elevação do nível de conscientização da população, somada a preocupação em se aproveitar as partículas finas e de resíduos gerados pelo processamento mineral, de forma econômica, tem colocado mais uma vez a briquetagem como alternativa a conferir valor econômico a esses “rejeitos” (CARVALHO e BRINCK, 2010).

O processo de briquetagem apresenta, também, grande vantagem em relação ao armazenamento, uma vez que permite uma grande redução do volume do material, promovendo um melhor aproveitamento do espaço de estocagem (SOUSA, 2012).

Segundo Carvalho e Brinck, 2010, para o que haja a obtenção de briquetes de qualidade, alguns fatores devem ser levados em consideração, a citar:

1. *Trabalhabilidade*: Avaliação das características físicas e químicas do material a ser trabalhada, a necessidade de aglutinantes ou não, a técnica necessária, se a quente ou a frio, a quantidade de água da mistura e tamanho e forma dos briquetes.
2. *Condições operacionais*: A pressão necessária a ser aplicada bem como a velocidade de trabalho e controles de ajuste da umidade da mistura.
3. *Operações complementares*: Visando a melhoria da qualidade dos briquetes, verificar a necessidade de uma classificação por tamanho dos componentes da mistura, de pré-mistura, pré-prensagem, de tempo de cura, das suas condições de armazenamento, etc.

Carvalho e Brinck (2010), ao abordar sobre o processo de aglomeração através da briquetagem, cita que este pode ser realizado de três formas:

1. Através da prensa de rolos: o material é alimentado de forma contínua, passando entre dois rolos que giram em sentidos contrários. A superfície dos rolos apresenta cavidades que funcionam como moldes. À medida que o rolo gira, ele prensa o material contido nas cavidades, formando briquetes, conforme mostra a Figura 6.
2. Por meio de extrusão em máquinas do tipo maromba: A briquetagem por extrusão, de acordo com Nolasco (2003), é feita em máquinas rotativas, oferecendo um produto homogêneo, sem aglomerantes, a temperaturas que variam entre 150 e 200°C. As altas temperaturas são alcançadas devido ao atrito dentro das câmaras de compressão, permitindo que a lignina se liquefaça, criando uma camada externa do material. O material é em seguida exposto a altas pressões, tornando-o mais compacto. O seu posterior resfriamento lhe confere elevada resistência mecânica. A lignina que se solidifica na superfície oferece também resistência à umidade.
3. Em prensas hidráulicas: o material é alimentado em moldes e em seguida prensado. A alimentação e prensagem ocorrem de forma intermitente.

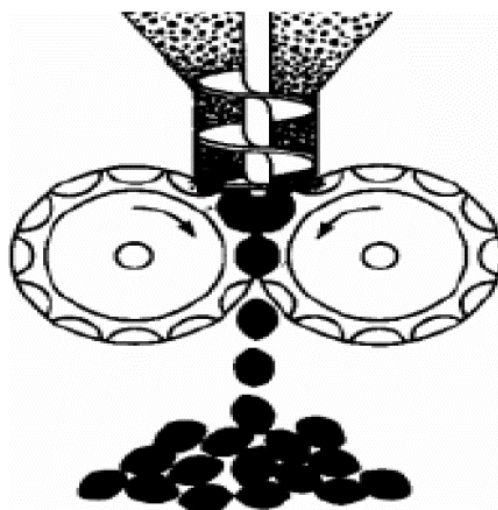


Figura 6 - Alimentador operando juntamente com uma prensa de rolos.
Fonte: United States Agency International Development - USAID, 2010.

Pode-se separar o processo de briquetagem em quatro etapas, descritas a seguir. A primeira é a preparação, que consiste em avaliar as propriedades do material a ser compactado, determinação do melhor equipamento e quantidade de aglutinante. A segunda é a mistura, que visa distribuir de maneira uniforme o aglutinante na superfície do material a ser briquetado. A terceira, a compactação, onde o material sofre ação de carga compressiva de forma progressiva, partindo do ponto de onde se inicia a força, até a menor distância entre os rolos (ponto de máximo valor da pressão). Em seguida o material compactado é liberado de forma abrupta na forma do aglomerado. E por fim, a quarta etapa, que consiste no tratamento térmico, onde há o aquecimento dos briquetes e posterior resfriamento lento (CARVALHO e BRINCK, 2010).

Os briquetes podem ser feitos com a utilização ou não de aglutinantes. A utilização de aglutinantes permite que no processo de briquetagem sejam aplicadas pressões menores. Em casos de materiais de elevada dureza, ainda há a briquetagem a quente, que consiste em aquecer o material de forma a torná-lo mais maleável, não atingindo, entretanto, sua temperatura de fusão (CARVALHO e BRINCK, 2010).

2.7.2 Briquetagem com e sem aglomerantes

Os aglutinantes são de extrema importância no que tange a fabricação de briquetes.

Existem basicamente três tipos de aglomerantes, sendo que a qualidade do briquete está relacionado também a qualidade do aglomerante. Os aglomerantes podem ser divididos em: orgânico, inorgânico e composto (ZHANG, SUN e XU, 2018), cujas principais características são resumidas a seguir, no Quadro 1.

Quadro 1 - Tipos de aglomerantes e principais características.

Tipo	Características	
	Positivas	Negativas
Orgânico	Boa colagem; Aumento da resistência mecânica.	Degradabilidade em altas temperaturas.
Inorgânico	Boa estabilidade térmica; melhor hidrofiliçidade; baixo custo devido à grande disponibilidade.	Má impermeabilização da água; produção de alto teor de cinzas quando submetido a queima.
Composto	Permite balancear as vantagens e desvantagens de diferentes aglomerantes.	_____

Fonte: Zhang, Sun e Xu, 2018.

Quando os briquetes são feitos sem a utilização de aglomerantes, utilizam-se, geralmente, baixas pressões na confecção. O sucesso da aglomeração, nesses casos, dependerá da moagem ou das deformações plásticas que as partículas sofrem, tendendo a aproximá-las ao máximo (SAMPAIO, COSTA e ANDRADE, 2007).

O emprego de aglomerantes se faz necessário quando o material a ser aglomerado não oferece resistência à compressão e ao impacto após a briquetagem. O aglomerante tem função de tornar maior a adesão entre partículas finas. São classificados conforme sua função na mistura ou, conforme colocam alguns autores, quanto ao seu estado físico e solubilidade em água. A primeira classificação divide os aglutinantes em matriz, filme ou químicos, enquanto a segunda os classifica em líquidos, sólidos, solúveis ou insolúveis em água (CARVALHO e BRINCK, 2010). No Quadro 2, são listados os principais aglomerantes utilizados para diferentes materiais.

Quadro 2 - Alguns aglutinantes utilizados na aglomeração de partículas finas.

Material	Aglomerantes
Minério de ferro	Cal e melaço
Cromita	Cal e melaço
Fluorita	Cal, melaço ou silicato de sódio
Bauxita	Cimento Portland
Carvão	Melaço
Cobre	Lignosulfonatos
Areia de quartzo	Água e NaOH

Fonte: Adaptado de Carvalho e Brinck (2010).

Purnomo et al. (2018), em seu trabalho, utiliza resíduos provenientes da indústria da cana-de-açúcar, especificamente o melaço de cana e o bagaço de cana, na produção de adubo de liberação lenta. O melaço de cana, devido a suas características de alta viscosidade e capacidade ligante, pode ser utilizado como agente aglomerante.

2.7.3 Avaliações da qualidade dos briquetes

Como descreve Carvalho e Brinck (2010), para a avaliação da qualidade física dos briquetes utilizam-se alguns testes padronizados, que são listados a seguir:

- Resistência à compressão: geralmente se requer do briquete certa resistência para que possa ser estocado, este ensaio visa a determinação da resistência aos esforços compressivos que o briquete suporta, submetendo-o a pressão axial contínua e progressiva até seu rompimento.
- Resistência ao impacto: ensaio em que o briquete é submetido a um determinado número de quedas. A resistência é concebida com relação ao número de quedas que o briquete suporta até atingir uma perda de massa de 5% ou pela quantidade de partículas produzidas, inferiores a 3,3 mm, após 20 quedas de uma altura de 2,3 m de altura. Simula-se neste teste, o comportamento do briquete frente ao manuseio e transporte. Os ensaios podem ser feitos através da queda livre, a partir de uma altura de 0,3 m, caso não tenham

passado por um processo de cura. Se já tiver passado por um tratamento térmico, a altura deverá ser de 1,5 m.

- Resistência à ação da água: Este teste visa simular o armazenamento de briquetes em ambientes externos. É mensurado o ganho de peso após sua imersão em água, podendo relacionar o ganho de massa com a variação do tempo.

2.8 Produção de cana-de-açúcar no Brasil

A estimativa de produção de cana de açúcar para a safra de 2018/2019 é de 615,84 milhões de toneladas. A produção deverá atingir 8.634,2 mil hectares, com uma produtividade média estimada de 71.326 kg/ha. O envelhecimento das lavouras, a baixa taxa de renovação, a falta de investimento em algumas regiões e a redução do pacote tecnológico bem como a longa estiagem com altas temperaturas têm mantido as médias brasileiras inferiores a 80.000 kg/ha. Apesar da redução de 2,8% da produção em relação à safra anterior, e também de produtividade em 1,7%, o Brasil ainda mantém o posto de maior produtor mundial (Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB, 2018).

A cana é composta, aproximadamente, por 65 a 75% de água. Dentre as substâncias sólidas solúveis, a sacarose é a maior representante, correspondendo entre 70 e 91%. O caldo da cana mantém todos os nutrientes da cana, estando entre eles minerais como o ferro, cálcio, potássio, sódio, fosforo, magnésio e cloro (FAVA, 2004).

O melado é, segundo a resolução nº 271 de 2005 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) do Ministério da Saúde, um produto obtido pela concentração do caldo de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) ou a partir da rapadura derretida. Porém, o termo melado não pode ser confundido com melaço, que é um subproduto da turbinagem da indústria do açúcar cristal (CARVALHO, 2007).

2.9 Nutrição das plantas

Segundo Alcarde et al. (1998), adubo ou fertilizante é um produto mineral ou orgânico, natural ou sintético, que fornece às plantas um ou mais nutrientes vegetais (ALCARDE et al., 1998). Os adubos e fertilizantes devem fornecer os chamados macronutrientes, que são necessários em maiores quantidades, e os micronutrientes, necessários em menores quantidades. Os macronutrientes são: nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca),

magnésio (Mg) e enxofre (S). Os micronutrientes são: manganês (Mn), zinco (Zn), cobre (Cu), ferro (Fe), molibdênio (Mo), boro (B) e cloro (Cl) (AMARO, 2018).

As plantas requerem nutrientes essenciais para o seu correto funcionamento e crescimento. A faixa de suficiência de uma planta é aquela que apresenta a quantidade de nutrientes necessária para atender às necessidades nutricionais da planta e maximizar o crescimento (Figura 7). A largura dessa faixa depende das espécies de plantas individuais e do nutriente específico. Os níveis de nutrientes fora do intervalo de suficiência de uma planta causam um declínio geral do crescimento da cultura e da saúde. A deficiência de nutrientes ocorre quando um nutriente essencial não está disponível em quantidade suficiente para atender aos requisitos de uma planta em crescimento. A toxicidade ocorre quando um nutriente excede as necessidades da planta e diminui o crescimento ou a qualidade da planta (MCCAULEY, JONES e JACOBSEN, 2011).

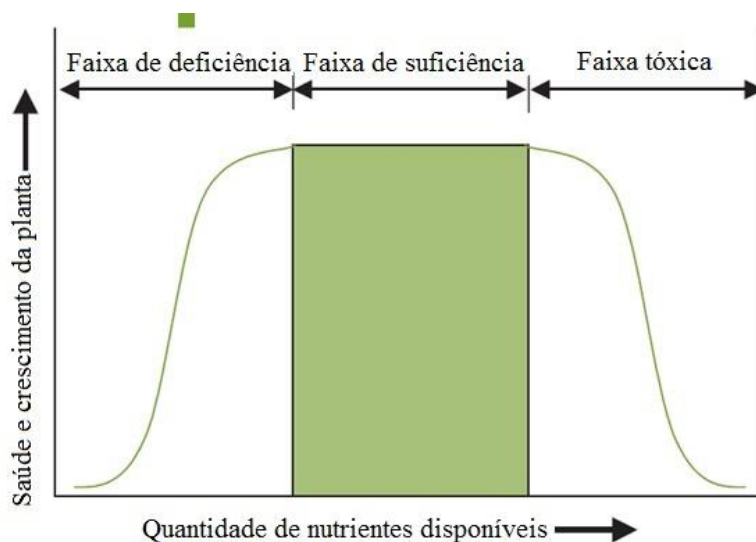


Figura 7 - Relação entre a saúde e crescimento da planta e a quantidade de nutrientes disponíveis.

Fonte: Brady e Weil (2016).

Sabe-se que uma parte maior ou menor dos nutrientes adicionados ao solo não é aproveitada pelos vegetais devido a diversas causas, como perdas por lixiviação ou lavagem, insolubilização, volatilização, etc. Estima-se que o índice de aproveitamento do nitrogênio seja de 70 a 90%, do fósforo seja de 5 a 20% e do potássio, de 50 a 70%. Um dos fatores que contribuem substancialmente para essas perdas é a pronta solubilização dos fertilizantes

(ALCARDE et al., 1998).

A lixiviação de nutrientes, relacionada aos fertilizantes, se refere ao movimento descendente de nutrientes dissolvidos no perfil do solo através da infiltração de água. Esses nutrientes são perdidos do sistema, embora as raízes das plantas possam crescer, alcançando maiores profundidades, e reaproveitá-los. Os nutrientes lixiviados podem contribuir para a contaminação de águas subterrâneas em regiões com agricultura intensiva. A lixiviação de nitrato é também uma fonte significativa de acidificação do solo. Em climas úmidos, alguma lixiviação de nutrientes ocorre mesmo sob vegetação natural, embora atividades agrícolas potencializem as perdas essas perdas (LEHMANN e SCHROTH, 2003).

2.10 Adubos de liberação lenta

Os fertilizantes podem contribuir significativamente para a degradação ambiental, particularmente em sistemas agrícolas intensivos, porque a recuperação ou a eficiência do uso de nutrientes pelas culturas é relativamente baixa. Além disso, a economia do uso ineficiente de fertilizantes deve ser levada em consideração. Isso tem provocado uma demanda crescente por técnicas que aumentem a eficiência do uso de fertilizantes e reduzam as perdas dos sistemas solo-planta (LIU et al., 2014).

Os empreendimentos conservacionistas têm se tornado cada vez mais interessantes financeiramente. O acirramento das cobranças dos órgãos ambientais no que tange a aplicação da legislação florestal e o aumento do nível de consciência ambiental da população são fatores que tem proporcionado uma crescente demanda de espécies florestais nativas (GONÇALVES et al., 2014). Mas tal sucesso está diretamente relacionado à produção de mudas de qualidade, que é obtido através da adubação correta, aumentando, desta forma, a resistência das plantas e sua chance de sobrevivência no período pós-viveiro (WILSEN NETO e BOTREL, 2009).

No modo tradicional de adubação, as mudas arbóreas nativas são produzidas com uma rápida absorção de nutrientes, devido à pronta disponibilidade propiciada pelos adubos. No entanto, com as frequentes irrigações a que são submetidos os viveiros florestais, esses adubos tornam-se muito suscetíveis à lixiviação. Uma forma de elevar a eficiência das adubações seria o parcelamento de nutrientes às plantas. Esse método, porém, elevaria o custo de produção, uma vez que exigiria sucessivos manejos. Desta forma, os fertilizantes de liberação lenta se colocam como uma interessante alternativa ao problema (DUTRA et al., 2016).

Os grânulos de fertilizantes que não possuem revestimento, ao serem aplicados ao solo, se perdem continuamente, principalmente devido à volatilização, lixiviação, desnitrificação e

escoamento superficial. Além das perdas econômicas geradas, devido à baixa absorção, há também questões relacionadas a poluição ambiental, dentre elas a eutrofização da água, que é o processo de crescimento descontrolado do número de plantas aquáticas nos corpos d'água, devido a grande quantidade de nutrientes disponíveis, que acabam por gerar uma série de transtornos (IRFAN et al., 2018).

Existem dois termos que são utilizados na literatura para se referir a adubos que fornecem nutrientes de forma gradual: adubos de liberação lenta e adubos de liberação controlada. Porém, há divergências quanto sua utilização. Alguns utilizam esses termos como sinônimos, como no caso da Association of American Plant Food Control Officials - AAPFCO (1997).

Na visão da AAPFCO (1997), entende-se por adubo de liberação lenta ou controlada aquele adubo que retarda sua disponibilidade para as plantas, perdurando mais do que os chamados fertilizantes de rápida disponibilidade, como o nitrato de amônia, ureia ou amônia. Esse retardo de disponibilidade pode ocorrer por uma diversidade de mecanismos.

Outros autores, por outro lado, indicam pequenas diferenças entre os adubos de liberação lenta e de liberação controlado, como no caso de Shaviv (2005). Ele propõe a seguinte classificação:

- Compostos orgânicos de baixa solubilidade.
- Fertilizantes em que uma barreira física controla a liberação: Os fertilizantes podem ser como comprimidos ou grânulos revestidos por polímeros hidrofóbicos ou com matrizes nas quais o material solúvel é dispersado de modo contínuo, sendo restringida a dissolução do fertilizante (Figura 8).
- Compostos inorgânicos de baixa solubilidade. Fertilizantes tais como fosfatos metálicos de amônio (por exemplo, fosfato de amônio e magnésio ($MgNH_4PO_4$)) e rocha fosfatada parcialmente acidulada (PAPR) são os mais típicos.

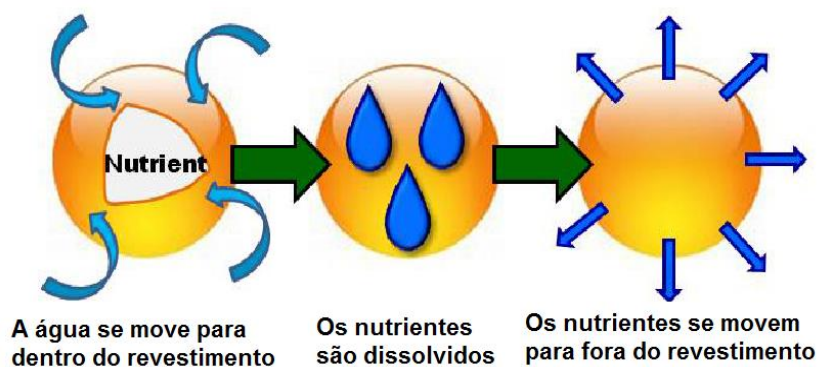


Figura 8 – Mecanismo de funcionamento dos adubos de liberação controlada. Fonte: IPNI (2010).

Fertilizantes de liberação controlada são tipicamente revestidos ou encapsulados com materiais inorgânicos ou orgânicos, podendo ser semipermeáveis ou apresentar outras formas químicas ou meios desconhecidos. Esse envoltório controla a taxa, padrão e duração da liberação de nutrientes para a planta (TRENKEL, 2010). A cinética de liberação de nutrientes é alterada nos adubos de liberação controlada, fornecendo estrategicamente, de modo sincronizado, nutrientes às plantas conforme suas necessidades metabólicas (IRFAN et al., 2018).

Alshamaileh, Al-rawajfeh e Alrbaihat (2018) também pregam que os adubos de liberação lenta são apenas ligeiramente solúveis e requerem um tempo adicional para a mineralização, dando-lhes assim, propriedades de liberação lenta. Estes materiais podem ser orgânicos ou inorgânicos e, ao contrário dos adubos de liberação controlada, não são revestidos.

O aumento da eficiência do uso de nutrientes também pode aumentar o rendimento e a qualidade das culturas, proporcionando, assim, benefícios econômicos para os produtores (KOHUT, HADERLEIN e MARANTZ, 2000).

Embora não seja o foco deste trabalho, diversos são os estudos que sinalizam para uma maior eficiência na utilização de recursos com a aplicação de adubos de liberação lenta. Dentre eles estão os trabalhos de Gomes et al., (2011); Muniz et al., (2013); Rós, Araújo e Narita (2013); Pagliarini, Castilho e Alves (2014); Rossa et al., (2015) e Simão (2017). Estes estudos são resumidos a seguir:

- Gomes et al. (2011): o experimento foi conduzido em cultura de café (*Coffea arabica* L.). O objetivo foi de avaliar a utilização de um fertilizante de liberação lenta – Ciclus NKS®. As avaliações foram realizadas aos 54 e 157 dias da aplicação dos tratamentos, sendo analisados os teores de nitrogênio, fósforo e potássio nas folhas, e o crescimento

vegetativo. O produto Ciclus NKS® conseguiu manter os níveis de N e K foliares adequados para a cultura do cafeeiro em produção no período avaliado.

- Muniz et al. (2013): O estudo buscou analisar a eficiência ao se utilizar dois tipos diferentes de adubos, um de liberação lenta e um convencional. A espécie de planta utilizada em seus estudos foi o *Eucalyptus grandis*. Eles constataram maior eficiência dos adubos de liberação lenta em relação aos convencionais, sendo que aqueles geraram plantas de maior altura e diâmetro.
- Rós, Araújo e Narita (2013): o objetivo deste trabalho se restringiu em avaliar a produção de mudas de batata-doce em bandeja utilizando-se fertilizante de liberação lenta. Concluiu-se que a adição do fertilizante favorece o crescimento de mudas de batata-doce, sendo que a dose de 200 g para cada 25 kg de substrato gera os melhores resultados.
- Pagliarini, Castilho e Alves (2014): o objetivo do trabalho foi avaliar o desenvolvimento de mudas de Jequitibá com a utilização de fertilizante convencional e diferentes formulações de fertilizantes de liberação lenta. Analisou-se parâmetros como altura de planta; diâmetro de caule (mm) e teor de clorofila das folhas. O fertilizante Osmocote (15-09-12) foi mais eficiente no desenvolvimento de mudas de Jequitibá.
- Rossa et al. (2015): possuía como objetivo avaliar o desenvolvimento de duas espécies arbóreas nativas - *Anadenanthera peregrina* (angico-vermelho) e *Schinus terebinthifolius* (aroeira-vermelha) - submetidas a doses de fertilizante de liberação lenta. Os resultados deixaram claro que a aplicação de fertilizante de liberação lenta trouxe ganhos significativos de crescimento em ambas as espécies.
- Simão (2017): Objetivou-se neste trabalho avaliar a eficiência de fertilizantes de liberação controlada no crescimento e desenvolvimento de plantas de mamoeiro na fase vegetativa e produtiva, usando os fertilizantes Basacote. Avaliaram-se, dentre outros fatores, o florescimento, o diâmetro do caule (DC), a altura de inserção da primeira flor, a altura da planta (AP) e o número de folhas por planta; na fase produtiva avaliou-se também o número de frutos comerciais e massa de fruto. Os resultados mostraram-se satisfatórios, sendo inclusive uma alternativa a fertirrigação (técnica em que se utiliza a água de irrigação para levar os nutrientes ao solo).

Os fertilizantes de liberação lenta são usados principalmente nas indústrias de gramados, relvados e viveiros ornamentais. Tendo em vista que as plantas podem absorver nutrientes continuamente, torna-se vantajoso o fornecimento de um suprimento relativamente estável ao longo de seus períodos mais ativos de crescimento. Talvez a maneira mais eficiente de conseguir isso seja aplicar um fertilizante de liberação lenta, projetado para liberar nutrientes em taxas que

correspondam aos requisitos específicos das plantas. Fertilizantes de liberação lenta contêm um ou mais nutrientes essenciais. Esses elementos são disponibilizados para uso da planta durante um período prolongado (SAVOY, 2010).

2.10.1 Demanda por mudas de plantas nativas

Em 2012 foi sancionada a lei 12.727, no Congresso brasileiro, lei essa que alterou os critérios para proteção de vegetação nativa. Ainda que os novos critérios adotados significassem em uma redução das áreas a serem recuperadas, acirrou-se o controle e monitoramento das demais áreas. Desta forma, de acordo com dados de Silva et al. (2015), é bem provável que nos próximos anos haja relevante aumento da demanda por sementes e mudas nativas, fundamentais para a restauração da vegetação nativa.

Preocupações quanto a expansão das áreas de cultivo agrícola têm sido mais presentes frente a ocupação de espaços antes ocupados por vegetação nativa, gerando discussões quanto à preservação e recuperação ambiental dentro das propriedades rurais. Uma das técnicas mais recomendadas para recuperação das áreas já degradadas é o replantio de espécies nativas, resultando em um aumento na demanda de serviços e produtos florestais (ROSSA et al., 2013).

A adubação é responsável por garantir o bom crescimento e qualidade das mudas, sendo o principal meio do qual os viveiristas dispõem para este fim (SANTOS, 2008).

2.11 Culturas em que se aplicam adubos de liberação lenta

A seguir, serão abordados alguns tipos de plantações que apresentam alguma relevância para o cenário econômico nacional, relevância ecológica e, principalmente, por terem como prática a utilização de adubos de liberação lenta, ou que haja estudos indicando sua maior eficácia deles para essas culturas. Deixando claro, mais uma vez, de que a aplicação dos adubos de produção lenta produzidos com o calcário e o melado de cana não foi o foco deste trabalho.

2.11.1 Mudas de plantas do Cerrado

O Cerrado é considerado a savana mais rica do planeta, portando, cerca de 5% de toda a biodiversidade existente. Por outro lado, o cerrado se encontra entre os biomas mais

ameaçados do país. Até 2008, este bioma perdeu 47,84% de sua cobertura vegetal, levando-se em consideração sua área original de 204 milhões de hectares (Ministério do Meio Ambiente - MMA, 2011). Essa perda é, segundo reportagem feita por Spring (2018), pela agência de notícias Reuters em agosto de 2018, 50% maior que aquele observado na floresta amazônica, que é muito maior em termos de tamanho. Em termos relativos, isso equivaleria a uma taxa de desmatamento 4 vezes maior do que a da floresta amazônica.

Tendo este contexto em vista, tornam-se necessárias ações no sentido de recuperar e conservar áreas remanescentes do cerrado. E para que isso ocorra, a produção de espécies de mudas nativas é de fundamental importância. Nos últimos anos, tem havido crescimento nas demandas por mudas de espécies originárias do cerrado, isso devido tanto a valorização dessas espécies, como também pela necessidade de recuperação das Áreas de Preservação Permanente (APPs) e das Áreas de Reserva Legal (ARLs), necessidade esta expressamente prevista pelo novo Código Florestal (MMA, 2011).

2.11.2 Mudas de seringueira

A seringueira (*Hevea brasiliensis*) é de extrema importância para o mundo moderno. O látex que se extrai dela é utilizado na fabricação de diversos produtos como pneus de carros e aviões, além de inúmeros utensílios, luvas cirúrgicas e preservativos (SHANLEY e MEDINA, 2005). A borracha da seringueira possui maciez, flexibilidade, capacidade de isolamento elétrico, entre outras características não encontradas nas borrachas sintéticas, tornando-a imbatível. Além da riqueza natural do látex, ainda possui grande potencial para uso nobre da madeira, servindo para a produção de mesas, cadeiras e compensado (OLIVEIRA, 2010).

Estudos relacionados à utilização de sementes da seringueira na produção de suplementos alimentares, farinhas e barras de cereais são relatados em reportagens. A semente é rica em proteína e contém pouca gordura. Enquanto a casca seria utilizada como adubo (GONÇALVES, 2016).

2.11.3 Mamão

A cultura do mamão exerce grande importância socioeconômica para a fruticultura nacional. O Brasil destaca-se como segundo produtor mundial e o terceiro exportador da fruta,

produzindo mais de 1,5 milhão de tonelada em uma área plantada de quase 32 mil hectares (LUCENA, 2016).

O mamão produzido no Brasil é destinado ao abastecimento de mercados locais e exportação de fruta fresca. É também uma importante fonte de papaína, enzima proteolítica de ação semelhante à da pepsina e tripsina, empregada para os mais variados usos nas indústrias têxteis, farmacêutica, de alimentos e de cosméticos. Além disso, o mamão é boa fonte de cálcio e excelente fonte de vitamina A e de ácido ascórbico (vitamina C). As principais características do mamoeiro são a grande densidade de plantas por hectare, seu rápido desenvolvimento, sua fácil propagação e alta produtividade durante todo o ano (TRINDADE, 2000).

Lavouras de mamoeiro podem ser conduzidas com uma única aplicação de basacote (espécie de adubo de liberação controlada) até o florescimento, sem prejuízo do seu crescimento. Outra porção pode ser aplicada após o florescimento, apresentando satisfatórios resultados, principalmente quanto ao número de frutos comerciais (SIMÃO, 2017).

2.11.4 *Eucalipto*

O gênero *Eucalyptus* tem a sua origem na Austrália, Tasmânia e outras ilhas da Oceania. Existem cerca de 730 espécies reconhecidas botanicamente. Porém, não mais que 20 delas são atualmente utilizadas para fins comerciais em todo o mundo (SANTAROSA, PENTEADO JÚNIOR e GOULART, 2014).

De forma geral, espécies de eucalipto têm sido preferencialmente utilizadas devido ao seu rápido crescimento, capacidade de adaptação às diversas regiões ecológicas e pelo potencial econômico, tendo em vista a utilização diversificada de sua madeira. A alta produtividade de madeira, com menores custos e maiores taxas de retorno do investimento, conferem grande atratividade ao cultivo do eucalipto, garantindo alta competitividade de seus produtos nos mercados interno e externo (SANTAROSA, PENTEADO JÚNIOR e GOULART, 2014).

Os plantios de eucalipto ocupam 5,7 milhões de hectares de árvores plantadas, sendo localizados principalmente nos estados de Minas Gerais (24%), de São Paulo (17%) e do Mato Grosso do Sul (15%) (Indústria Brasileira de Árvores - IBA, 2017).

As principais aplicações do eucalipto são, no caso da madeira, a produção de celulose, utilização como combustível, na construção civil e confecção de móveis. No caso das folhas, são utilizadas para a extração de óleos essenciais, utilizados na indústria de higiene e limpeza, cosméticos e fármacos.

CAPÍTULO 3

METODOLOGIA

A metodologia adotada neste trabalho foi semelhante à de Barros (2016), possuindo como maiores diferenciais a variação na massa de calcário utilizado e, principalmente, aplicando-se dois diferentes períodos de cura aos briquetes. Desta forma, permite-se a análise da quantidade de massa e da cura sobre a resistência dos briquetes. A massa de calcário foi estabelecida com base em 1/2 (7,5 g) e 1/3 (5 g) da utilizada por Barros (2016), que foi de 15 g. Com base em testes preliminares, foram estabelecidos os períodos de cura de 5 e 10 dias, sem contar o de 0 dias, que é o briquete que não passou pela cura.

O trabalho foi realizado na Universidade Federal de Goiás (UFG) – Regional Catalão. Todos os testes foram feitos em triplicata, executando-se o de resistência a ação da água, realizado uma única vez. O melado de cana utilizado, de 250 mL, foi adquirido em um supermercado da região. O calcário utilizado é proveniente da cidade de Lagamar-MG, o qual apresenta em torno de 99,5% do material passante na peneira de 75 µm.

Os experimentos realizados seguiram o fluxograma da Figura 9, apresentando de forma rápida e clara a sequência operacional dos processos realizados neste trabalho.

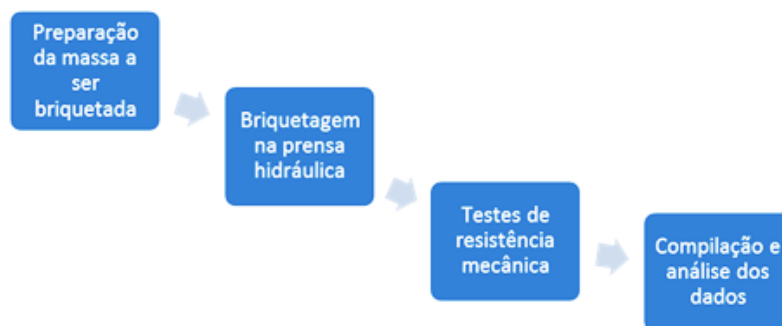


Figura 9 - Fluxograma do processo.
Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

1. Preparação da massa a ser briquetada: Este procedimento consiste em misturar todos os produtos que irão compor o briquete. Em um béquer de 50 mL, adiciona-se primeiramente a massa de água de 0,5 gramas, com função apenas de solubilizar o melado que será adicionado. Em seguida há a adição de melado de cana na proporção de 8,5% da massa de calcário a ser colocada e, depois, a massa de calcário (5,00 ou 7,50 g). Misturam-se todos os componentes, com uma espátula, de forma a gerar uma massa uniforme. Depois de formada a massa a ser briquetada, ela é transferida ao molde de briquete (Figura 10).
2. Briquetagem na prensa hidráulica: O molde é levado à prensa hidráulica, de capacidade de 45 toneladas (Figura 11), onde lhe é aplicada uma carga de 3 toneladas, atingida em torno de 8 segundos. A carga aplicada perdura por 50 segundos, quando em seguida, com o briquete já formado, é retirado do molde, finalizando o processo de confecção.
3. Testes de resistência mecânica: Depois de formados, os briquetes são submetidos a testes de resistência. Esses testes visam simular algumas condições às quais o produto final pode ser submetido, como é o caso do transporte, do empilhamento e armazenagem em locais abertos que possam sujeitar os briquetes a presença de água. Os testes realizados são os de compressão uniaxial, de queda e de resistência à ação da água.



Figura 10 - Molde de briquetes utilizado
Fonte: Elaborado pelo próprio autor.



Figura 11 - Prensa utilizada na confecção dos briquetes de calcário.
Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

3.1 Teste de quedas

De acordo com Carvalho e Brink (2010), esse tipo de ensaio visa simular as condições de manuseio de transporte do briquete. O autor descreve que a resistência ao impacto dos briquetes pode ser determinada a partir de ensaios de queda livre, a partir de uma altura de 0,3 m, caso

não tenha sido submetido a tratamento térmico, até 1,5 m, caso tenha. A resistência ao impacto é determinada pelo número de quedas que o briquete resiste fragmentando-se apenas até o ponto em que perde no mínimo 5% de sua massa inicial. Para este trabalho, foi utilizada a metodologia de Carvalho e Brink (2010) adaptada por Barros (2016), onde este visava também a avaliação da qualidade de briquetes de calcário. Nesta adaptação, utilizam-se alturas de queda de 30, 60, 90, 120 e 150 cm. O briquete é solto das respectivas alturas até colidir com um anteparo de concreto. O procedimento é repetido sucessivas vezes até que tenha perdido 5% da sua massa inicial.

O teste de queda foi realizado em triplicata, sendo que cada teste abrange quedas de alturas de 30, 60, 90, 120 e 150 cm, para cada período de cura diferente (0, 5 ou 10 dias). O procedimento inicia-se com a medição da altura, utilizando uma trena, em um suporte em que se ampara uma pinça, responsável por demarcar a altura medida (Figura 12).

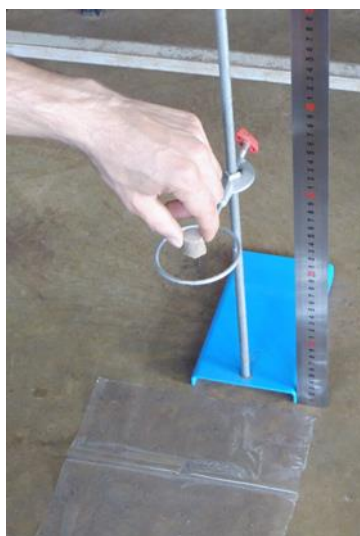


Figura 12 - Procedimento para o teste de quedas.
Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

3.2 Teste de resistência a ação da água

Esse tipo de ensaio objetiva verificar a resistência do briquete a ação da água. Importante para casos em que os briquetes serão armazenados em ambientes externos. O briquete de calcário foi imerso em uma porção de água, de 200 mL, contida em um béquer de 250 mL (Figura

13), ali permanecendo durante 1 hora. O teste foi filmado de modo a registrar a variação de forma do briquete durante todo o ensaio.



Figura 13 - Etapa de imersão do briquete do calcário em água.
Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

3.3 Teste de compressão

Utilizou-se uma prensa hidráulica de bancada de 2 toneladas da marca VRC para a realização dos testes (Figura 14). A prensa é constituída de duas placas paralelas, sendo uma móvel e outra rígida. O procedimento consiste em colocar o briquete na placa inferior, a móvel, e erguê-la até que o briquete entre em contato com a placa superior, exercendo uma força de compressão uniaxial sobre o briquete. A pressão é elevada de forma gradual até que haja o rompimento do briquete, registrando-se a pressão de rompimento.

Para uma melhor aferição das pressões registradas, todo o processo de rompimento foi filmado, com foco no manômetro, de forma a se permitir uma análise minuciosa das imagens geradas.



Figura 14 - Manômetro utilizado nos testes de compressão uniaxial.
Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

3.3.1 Processamento das imagens

Os vídeos gravados para o teste de compressão foram divididos em várias imagens. A partir de uma análise minuciosa, identifica-se visualmente aquela em que o ponteiro indicasse maior valor e, conseqüentemente, a pressão de ruptura do briquete. O programa utilizado para isto foi o Free Video to JPG Converter.

Para se obter com maior precisão os valores lidos no manômetro da prensa utilizada no teste de compressão, optou-se pela utilização do software ThumbsPlus 10. O programa permite o referenciamento da imagem de modo que cada pixel assuma uma coordenada.

Para o cálculo desenvolveu-se uma equação matemática na qual se insere os valores das coordenadas de alguns pontos, sendo eles: o ponto central do manômetro; o menor valor de pressão representado imediatamente anterior à posição do ponteiro; o maior valor representado imediatamente posterior ao ponteiro e, por fim, o do próprio ponteiro. Desta forma, o resultado gerado corresponde à pressão em que o briquete se rompeu. A Figura 15 representa os pontos

que tiveram suas coordenadas coletadas.



Figura 15. Imagem do manômetro e os pontos de coleta das coordenadas para o cálculo da carga de ruptura.

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

3.4 Análise da perda de umidade

A fim de se analisar a relação da perda de umidade dos briquetes com sua resistência, foi feito o monitoramento das massas dos briquetes durante um período de 10 dias, que é o tempo de cura máximo analisado. Os briquetes tiveram suas massas registradas diariamente. Foram selecionados 5 briquetes de cada período de cura (0, 5 e 10 dias) para serem analisados.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela 1 apresenta os principais dados sobre os briquetes confeccionados, enquanto a Figura 16 traz imagens dos briquetes formados. Naturalmente, como os briquetes com 7,5 g de calcário apresentam maior massa, a altura também é maior, uma vez que o molde utilizado é o mesmo e, desta forma, o diâmetro é constante. Os briquetes com 5 g de calcário apresentaram maior massa específica, evidenciando um maior grau de compactação. A menor quantidade de material gera uma maior facilidade de reorganização das partículas, uma vez que oferecem menor resistência aos esforços compressivos a que são submetidas no processo de formação do briquete. Isso se traduz em maior redução dos espaços internos se comparados aos briquetes com 7,5 g de calcário e, conseqüentemente, apresentando uma maior massa específica.

Tabela 1 - Média de alguns dados relacionados aos briquetes.

Massa de calcário (g)	Massa total (g)	Diâmetro (cm)	Altura (cm)	Volume (cm³)	Massa específica (g/cm³)
5,0	5,37	1,93	0,75	2,19	2,45
7,5	8,24	1,93	1,20	3,51	2,35

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

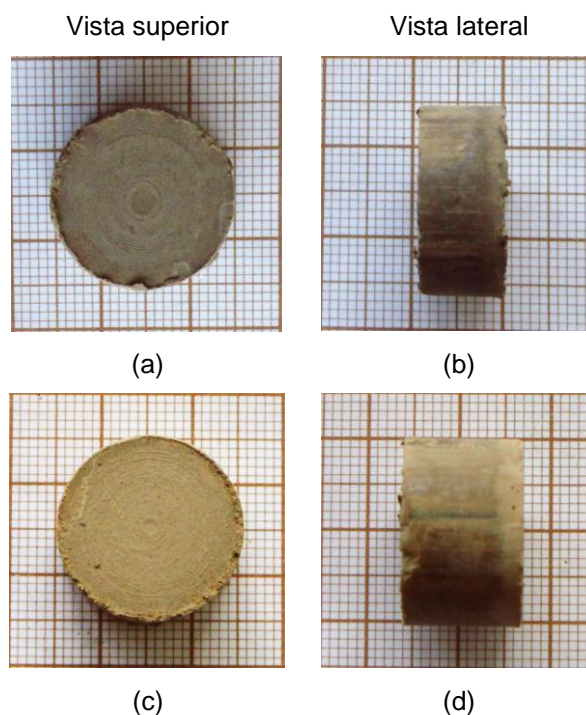


Figura 16 – Imagens dos briquetes formados: (a) e (b) representando os briquetes com 5 g de calcário e (c) e (d) aqueles com 7,5 g de calcário.
Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

4.1 Teste de queda

Para se evitar um número exaustivo de quedas, estabeleceu-se como limite o número de 200 quedas. Para todos os briquetes que suportassem as 200 quedas sem atingirem a perda de massa de 5%, obviamente suportariam mais de 200 quedas, por isso, nesses casos, os resultados foram expressos como “> 200”.

Os resultados dos testes para os briquetes, que não passaram por processo de cura (Figura 17), foram melhores em comparação aos obtidos por Barros (2016) (Figura 18). Isso já era de se esperar, uma vez os briquetes confeccionados neste trabalho, por apresentarem menor massa, apresentam também menor força de impacto, conforme se constata através da Equação 3, dada uma aceleração gravitacional (g) constante. A mesma análise pode ser feita comparando-se os resultados dos briquetes com 5,0 e 7,5 g de calcário que não passaram por cura. Os briquetes de menor massa apresentaram melhores resultados para o teste de queda do que os de 7,5 g. Embora a resistência tenha se apresentado bastante inferior aos briquetes com cura.

$$F = m \cdot g$$

(3)

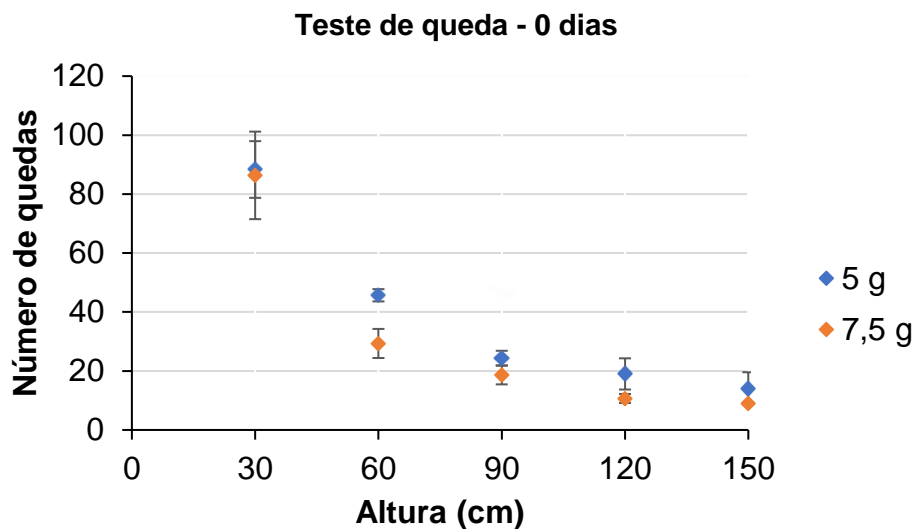


Figura 17 - Comparação entre os resultados para os testes de queda dos briquetes com 0 dias de cura.

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

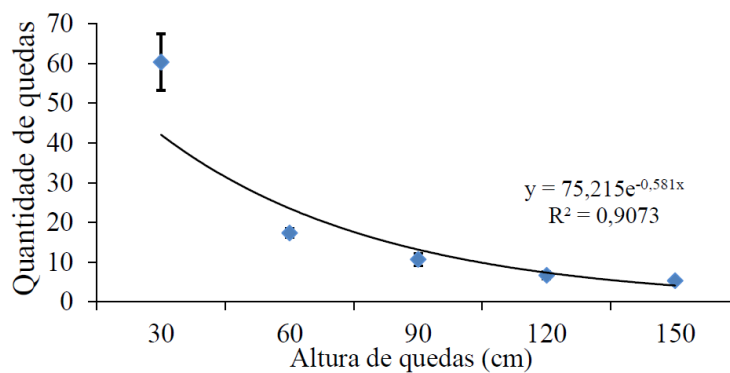


Figura 18 - Resultados para o teste de queda obtidos por Barros (2016).

Fonte: Barros (2016).

Para os tempos de cura de 5 e 10 dias, não foi possível distinguir os que possuíam maior resistência à queda, uma vez que apresentaram o limite de quedas estabelecido, que é de 200,

como é mostrado na Tabela 2.

Tabela 2 – Resultados dos testes de queda para os briquetes com 5 dias de cura.

Teste de queda			
Tempo de cura	Massa de Calcário	Altura (cm)	Média de quedas
5 e 10 dias	5,0 g	30	> 200
		60	> 200
		90	> 200
		120	> 200
		150	> 200
	7,5 g	30	> 200
		60	> 200
		90	> 200
		120	> 200
		150	> 200

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.


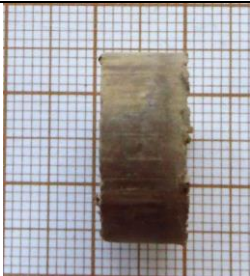
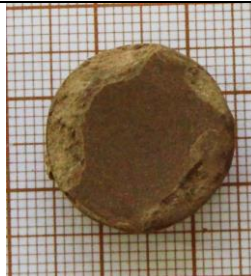


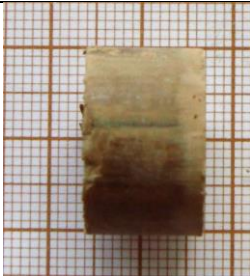
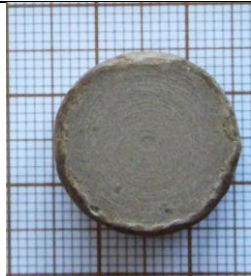
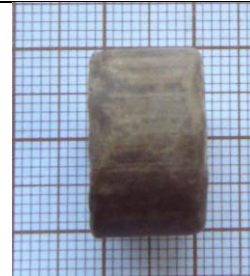
Os resultados obtidos demonstraram que o tempo de cura favorece o incremento de resistência dos briquetes. Embora não se possa dizer precisamente, apenas com os resultados dos testes de queda, o tempo de cura ideal, isto é, se haveria alteração da resistência dos briquetes com 5 para os com 10 dias de cura, e de quanto seria essa diferença. Isto, porque, os briquetes que passaram por processo de cura apresentaram o mesmo limite do número de quedas estipulado (200 quedas), sem haver, portanto, modo de distinção da resistência entre eles.

A perda de massa sofrida pelos briquetes, sem período de cura, também demonstram a fragilidade destes se comparados àqueles com algum tempo de cura. Como se observa nas imagens da Quadro 3, o efeito visual de danificação e perda de massa é muito mais acentuado em um briquete que não passou pelo processo de cura. A comparação é feita com dois briquetes de diferentes tamanhos: um sem e outro com 5 dias de cura, tendo o último suportado um número de quedas quase 10 vezes superior, apresentando-se visualmente muito menos danificado.

A análise visual apenas reforça o que os números de queda já demonstraram: o grande incremento de resistência para aqueles briquetes que passaram pelo processo de cura. A representação do briquete com tempo de cura no Quadro 3 se estende a todos os demais

briquetes com algum tempo de cura, tanto de 5,0 g e 7,5 g de calcário. Isto é, todos ainda demonstravam que poderiam suportar um número muito maior de quedas.

Quadro 3 - Comparação entre o efeito da queda para briquetes com diferentes tempos de cura.

Identificação	Antes		Depois	
	Vista superior	Vista lateral	Vista superior	Vista lateral
5,0 g 0 dias				
	a)		b)	
7,5 g 5 dias				
	c)		d)	

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Carvalho e Brink (2010) mencionam em seu livro que, para briquetes sem cura, considera-se 3 quedas como um número razoável, enquanto que para briquetes submetidos a um tratamento térmico, esse número passa para 10. Logo, os resultados apresentados neste trabalho, se mostram muito superiores ao valor considerado razoável, considerando-se até mesmo para aqueles briquetes submetidos a tratamento térmico.

4.2 Perda de umidade

De modo geral, como se verifica na Figura 19, os briquetes com 7,5 g de calcário

apresentaram maior porcentagem de perda de massa com o processo de cura. A perda é em relação a massa total, o que se traduz na perda de umidade. Essa maior perda de umidade já era de se esperar, tendo em vista sua maior superfície de contato. Tal fato é corroborado pela densidade calculada para os briquetes. Os briquetes maiores, por possuírem menor densidade, apresentam maior volume para uma mesma quantidade de massa se comparada aos briquetes com 5 g de calcário. Todos os briquetes analisados apresentaram um comportamento decrescente quanto a perda de umidade.

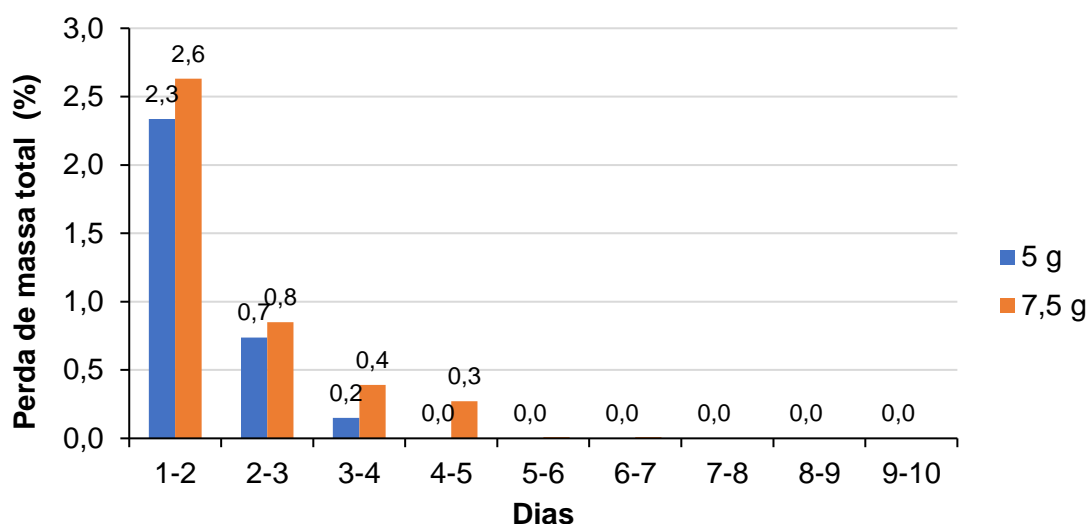


Figura 19 - Comparação entre a perda de umidade para os briquetes com 5 g e 7,5 g de calcário. Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Outra análise a se fazer é quanto ao comportamento do gráfico, descrevendo uma tendência decrescente da inclinação da curva a partir do primeiro dia, para ambos os tamanhos de briquete. Isso se deve, sobretudo, a disponibilidade de água na superfície dos briquetes nos primeiros dias. A medida que essa água vai sendo evaporada, o que resta é a umidade mais interna, que se perde mais lentamente.

Para os briquetes com 7,5 g de calcário, a perda de água perdurou até o 5º dia, enquanto que para os de 5 g de calcário, houve perda significativa até o 4º dia. Não foram representados no gráfico valores abaixo de 0,1%, não se podendo afirmar, portanto, que se cessou a perda de umidade a partir desses dias, mas apenas que deixou de ser relevante.

Assim posto, é razoável supor que, se o incremento de resistência dos briquetes está relacionado à perda de umidade, ela apresentaria um valor máximo no primeiro dia de cura e iria

decaindo com o passar do tempo, até atingir o valor zero, a partir de onde a resistência dos briquetes seria constante. Desta forma, os briquetes que passaram por um período de cura de 10 dias deveriam apresentar resistência a compressão maior do que os com 5 dias, porém com um acréscimo de resistência muito menor se comparado o incremento que há de 0 para 5 dias de cura.

No entanto, o que provavelmente confere maior resistência aos briquetes, com o processo de cura, é a cristalização da sacarose presente no melado de cana. Esses cristais de açúcar, ao se formarem, tendem a unir-se, gerando uma rede que confere rigidez a estrutura do briquete, tendo em vista que o melado se encontra disseminado por toda a massa do briquete. O processo é similar ao que acontece com a rapadura. O melado de cana, ao passar por processo térmico, perde grande parte da água de sua composição e começa a formar cristais de açúcar até que, por fim, após aeração e resfriamento, se solidifica dando origem à rapadura.

4.3 Teste de compressão

Os resultados obtidos no teste de compressão ajudaram a compreender o comportamento do incremento de resistência com base em seu tempo de cura. Conforme se verifica no gráfico da Figura 20, existe um alto incremento de resistência durante os 5 primeiros dias de cura. Percebe-se, ainda, a brusca queda na taxa de crescimento da resistência após esses 5 dias iniciais, havendo uma tendência de estabilização das cargas de ruptura a partir do 5º dia de cura.

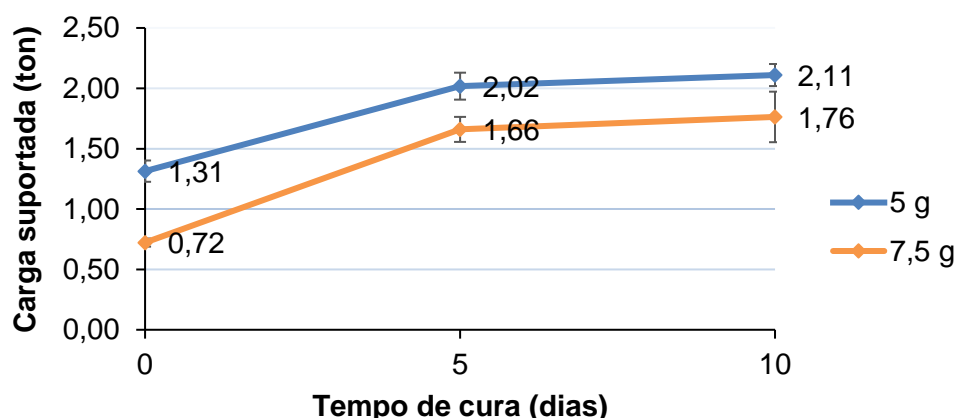


Figura 20 – Resultados do teste de compressão uniaxial para os briquetes com diferentes tempos de cura.








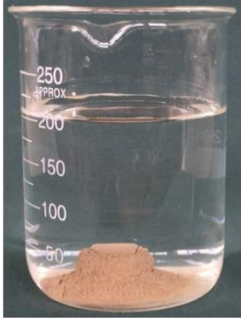



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

4.4 Teste de resistência à ação da água

Quanto maior o tempo de cura, maior foi o tempo de degradação do briquete pela ação da água. Isso demonstra que o incremento de resistência, com o tempo de cura, evidenciado nos testes de queda e de compressão uniaxial, também se traduz para o teste de resistência à ação da água. De modo geral, os briquetes de maior massa, dentro de um mesmo período de cura, apresentaram maior tempo para sua degradação. Isto se deve, sobretudo, as suas maiores dimensões, o que tornam mais demorada a percolação da água, dificultando o acesso ao material interno.

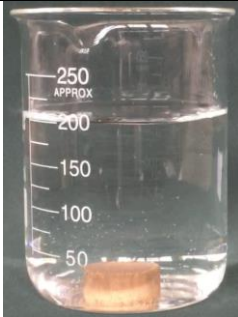



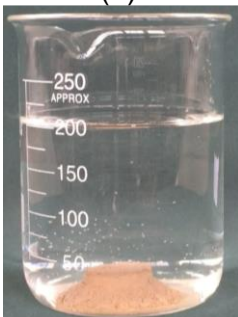
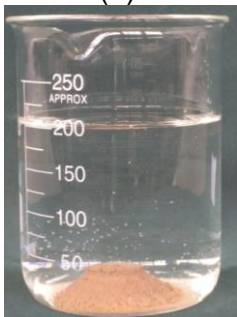










Os Quadros 4, 5 e 6 apresentam as imagens do teste de resistência à ação da água para todos os briquetes. No Apêndice A há uma tabela comparativa onde é possível diferenciar bem as mudanças visuais da estrutura do briquete para cada período de tempo registrado.

Quadro 4 - Briquetes com 5,0 e 7,5 g de calcário e 0 dias de cura. Resultados para o teste de resistência a ação da água com (a) 1 s; (b) 5 min; (c) 10 min; (d) 15 min; (e) 20 min e (f) 30 min.

Massa	0 dias de cura					
5,0 g						
	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	
7,5 g						
	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)










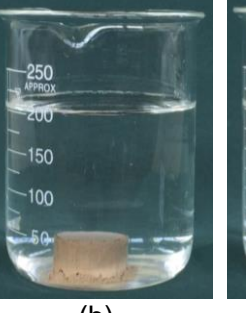
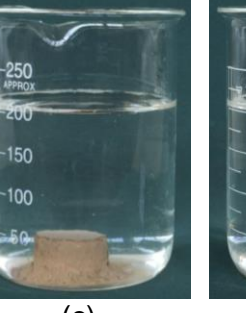


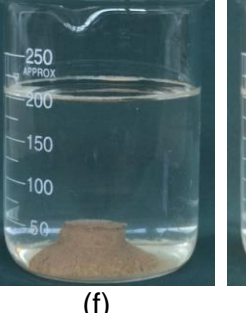
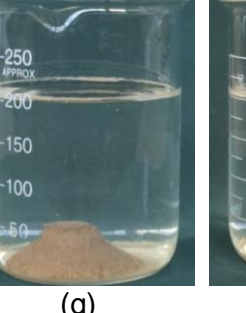

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Quadro 5 - Briquetes com 5,0 e 7,5 g de calcário e 5 dias de cura. Resultados para o teste de resistência a ação da água com (a) 1 s; (b) 5 min; (c) 10 min; (d) 15 min; (e) 20 min; (f) 30 min; (g) 40 min e (h) 1 h.

Massa	5 dias de cura								
5,0 g					(a)	(b)	(c)	(d)	
					(e)	(f)	(g)	(h)	
	7,5 g					(a)	(b)	(c)	(d)
						(e)	(f)	(g)	(h)

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Quadro 6 - Briquetes com 5,0 e 7,5 g de calcário e 10 dias de cura. Resultados para o teste de resistência a ação da água com (a) 1 s; (b) 5 min; (c) 10 min; (d) 15 min; (e) 20 min; (f) 30 min; (g) 40 min e (h) 1 h.

Massa	10 dias de cura								
5,0 g					(a)	(b)	(c)	(d)	
					(e)	(f)	(g)	(h)	
	7,5 g					(a)	(b)	(c)	(d)
						(e)	(f)	(g)	(h)

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

CAPÍTULO 5

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os briquetes foram produzidos com sucesso e ficou evidenciado que o período de cura interfere na resistência dos briquetes, tendendo a incrementá-la. Isso se traduz, dentro dos testes realizados, em suportar um maior número de quedas, maior carga de ruptura e maior tempo de resistência à ação da água. Para o que foi proposto, os resultados foram satisfatórios e animadores, uma vez que fazem surgir a possibilidade do controle do tempo de dissolução dos briquetes através do controle de resistência.

A manutenção da estrutura do briquete por maior tempo sob a ação da água atende a proposta dos adubos de liberação lenta. Dado que, os materiais que estão nas camadas mais internas do briquete, demoram mais tempo a entrarem em contato com a água. E, desse modo, os briquete apresentariam um maior tempo de dissolução. Seria necessário, entretanto, que houvesse continuação do trabalho, de modo a verificar o comportamento dos briquetes em ambiente externo, sob condições reais e, portanto, mais fidedignas.

Dentre a gama de produtos que propõem uma liberação mais lenta dos nutrientes, sobretudo os de liberação controlada, possuem um alto valor comercial. O encapsulamento dos nutrientes requer técnicas apuradas, o que se traduz em maiores custos de produção. A proposta de se controlar a dissolução dos nutrientes através da compressão, que é uma técnica relativamente barata de aglomeração mineral e a possibilidade de utilização de rejeitos de granulometria fina, se mostra como uma alternativa viável a esse mercado.

A questão da sustentabilidade e eficiente utilização dos recursos são aspectos fundamentais para se procurar viabilizar novos produtos que apresentem maior eficiência, tanto

na produção quanto na utilização. Principalmente no que tange a utilização de materiais de granulometria fina, que de modo geral, acarretam uma série de inconveniências, sobretudo na mineração.

CAPÍTULO 6

SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Propõe-se, para futuros trabalhos, a realização de testes de campo para constatar a eficácia dos briquetes como adubos de liberação lenta. Também seria interessante misturar a massa do briquete a outros componentes, como o NPK, de modo a torná-lo mais completo, dessa forma satisfazendo todas as necessidades nutricionais das plantas.

Além disso, alguns fatores operacionais relacionados à confecção dos briquetes de calcário poderiam ser alterados, ou até mesmo adicionados, visando seu aumento de resistência. Assim como colocam Purnomo et al. (2018), os parâmetros de preparo dos adubos de liberação lenta são importantes para determinar o perfil de liberação dos nutrientes, tendo em vista a variação desses padrões conforme sua confecção.

Parâmetros como carga de confecção, submissão a tratamento térmico controlado (tomando-se o cuidado para que não haja alterações químicas com a elevação de temperatura), poderiam corroborar com o controle sobre tempo total de dissolução dos briquetes de calcário.

REFERÊNCIAS

Association of American Plant Food Control Officials - AAPFCO. **Official Publication No. 50.** Association of American Plant Food Control Officials, West Lafayette, 1997.

ALCARDE, J.C.; GUIDOLIN, J.A.; LOPES, A. S. **Os adubos e a eficiência das adubações.** Boletim técnico nº 3, São Paulo, 1998. 35p

ALSHAMAILEH, E.; AL-RAWAJFEH, A. E.; ALRBAIHAT, M. Mechanochemical synthesis of slow-release fertilizers: a review. **The open agriculture journal**, v.12, p. 11-19, 2018.

AMARO, G. V. **Adubos e fertilizantes.** 2018. Disponível em: <<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/pimenta/arvore/CONT000gn08zc7m02wx5ok0liq1mqw825isw.html>>. Acessado em: 05 de set. de 2018.

BARROS, M. R. **Caracterização e avaliação da utilização de aglomerantes orgânicos e inorgânicos na aglomeração de finos de calcário.** Dissertação (Mestrado Profissional em Gestão Organizacional) – Universidade Federal de Goiás, Catalão, 2016.

United States Agency International Development - USAID. **Biomass briquetting in Sudan: a feasibility study.** Agosto, 2010. Disponível em <http://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PBAAA440.pdf> Acessado em: 15 de dezembro de 2018.

BLISS, J. D.; HAYES, T. S.; ORRIS, G. J. **Limestone** - A Crucial and Versatile Industrial Mineral Commodity. USGS Fact Sheet 2008-3089, 2008. Disponível em <<http://pubs.usgs.gov/fs/2008/3089/>> Acessado em: 20 de maio 2018.

BRADY, N.C.; WEIL, R.R. **The nature and properties of soil.** 15.ed. Columbus: Pearson, 2016.

BRASIL. **Resolução RDC ANVISA/MS nº 271, de 22 de setembro de 2005.** REGULAMENTO TÉCNICO PARA AÇÚCARES E PRODUTOS PARA ADOÇAR. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 26 set. 2005. Seção 1.

BRASIL. **Lei nº 12.727, de 17 de outubro de 2012.** Altera a Lei no 12.651, de 25 de maio de 2012, que dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nos 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; e revoga as Leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001, o item 22 do inciso II do art. 167 da Lei no 6.015, de 31 de dezembro de 1973, e o § 2o do art. 4o da Lei no 12.651, de 25 de maio de 2012. Brasília, DF,

17 de outubro de 2012. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/L12727.htm>. Acesso em: 15 out. 2018.

CARNEIRO, C. D. R.; GONÇALVES, P. W.; LOPES, O. R. **O ciclo das rochas na natureza**. Terræ didática 5(1), p. 50- 62, 2009.

CARVALHO, E. A., BRINCK V. Aglomeração – Parte I: Briquetagem. In: LUZ, A. B., SAMPAIO, J. A., FRANÇA, S. C. A. **Tratamento de Minérios**. 5.ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2010.

CARVALHO, E. A.; ALMEIDA, S. L. M. **Caulim e carbonato de cálcio: competição na indústria de papel**. Rio de Janeiro: CETEM, 1997. 29 p.

CARVALHO, R. F. **Beneficiamento dos derivados da cana de açúcar (melado e açúcar mascavo)**. Dossiê técnico, Bahia: RETEC/BA, 2007.

Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar**. Companhia Nacional de Abastecimento. SAFRA 2018/19, v. 5, n.3, Brasília: Conab, 2018.

CRESPO-MENDES, Natalia et al. Relationships between plant species richness and soil pH at the level of biome and ecoregion in Brazil. **Ecological Indicators**, v. 98, p. 266-275, 2019.

DELBONI, J. H. 2008. Cominuição, Parte II, Capítulo 2. In: FERNANDES, F. R. C.; G. MATOS, M. M.; CASTILHOS Z. C.; LUZ, A. B. **Tendências tecnológicas Brasil 2015**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2007.

DUTRA, F. C. **Estudos fenomenológicos associados à aplicação de silicato de sódio em aglomeração a frio de finos de minério de ferro**. 2015. 102 f. Tese (Doutorado em Engenharia dos Materiais) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2015.

DUTRA, T. R.; MASSAD, M. D.; SARMENTO, M. F. Q. Fertilizante de liberação lenta no crescimento e qualidade de mudas de canafístula (*Peltophorum dubium*). **Floresta**, Curitiba, v. 46, n. 4, p. 491 - 49, out/ dez, 2016.

FAVA, A. R. Atletas ingerem garapa para repor energia. **Jornal da Unicamp**, São Paulo, p. 8, 250. ed., 3 a 9 maio 2004.

GARCIA, E. A. S.; SILVA, A. C.; SILVA, E. M. S.; BARROS, M. R. Pelotização de finos de calcário utilizando água e cal virgem como agentes aglomerantes. In: **26º Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa**. Associação Brasileira de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa; vol. 1. p. 59-67, 2015.

GOMES, C. A.; DIAS, K. G. L.; COGO, F. D.; ORFÃO, P. A. S.; CEREDA, G. J.; TOLEDO, G. C. Fertilizante de liberação gradativa em cafeeiros em produção. **Tecnologia & Ciência Agropecuária**, João Pessoa, v.5, n.2, p.35-39, jun. 2011.

GONÇALVES, E. O.; PAIVA, H. N.; NEVES, J. C. L.; KLIPPEL, V. H.; CALDEIRA, M. V. W. Crescimento de *Dalbergia nigra* (Vell.) *Allemão ex Benth* sob diferentes doses de cálcio, magnésio e enxofre. **Árvore**, Viçosa, v. 38, p. 251-260, abril, 2014.

GREWAL, I. **Mineral processing introduction**. Met-souvelabes, 2018. Disponível em:

<<http://met-sovelabs.com/library/articles/mineral-processing-introduction>>. Acesso em: 05 de set. 2018.

HARRISON, D. J. **Industrial minerals laboratory manual limestone**. BGS Technical report WG/92/29, Nottingham, 1993.

Indústria Brasileira de Árvores - IBA. **Relatório 2017**. Indústria brasileira de árvores, 2017. Disponível em: <https://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA_RelatorioAnual2017.pdf>. Acesso em: 08 de set. de 2018.

International Plant Nutrition Institute - IPNI. **Manual internacional de fertilidade do solo**. Instituto da Potassa & Fosfato, 2. ed. Piracicaba: Potafos, 1998. 177 p.

International Plant Nutrition Institute - IPNI. Coated fertilizer. **Nutrient Source Specifics**, n. 20, Norcross: IPNI, 2010

IRFAN, S. et al. A review of mathematical modeling and simulation of controlled-release fertilizers. **Journal of Controlled Release**, v. 271, p. 45-54, 2018.

KOHUT, C. K.; HADERLEIN, L.; MARANTZ, D. **Potential for use of controlled release fertilizers in agriculture: present and future**. Proceedings of the Great Plains Soil Fertility Conference. Kansas: 2000. p. 321 Disponível em: <http://www.usask.ca/soilscrops/conferenceproceedings/previous_years/Files/cc2000/docs/posters/026_post.PDF>. Acesso em: 08 de set. 2018.

LEHMANN, J.; SCHROTH, G. Nutrient leaching. In:_____. **Trees, crops and soil fertility - concepts and research methods**. CABI Publishing, p. 151-166, 2003.

LIU, G.; ZOTARELLI, L.; LI, Y. D.; WANG, Q.; OZORES-HAMPTON, M. **Controlled-release and slow-release fertilizers as nutrient management tools**. IFAS Extension Service, University of Florida, p. 1-7, 2014.

LOPES, A. S.; SILVA, M. C.; GUILHERME, L. R. G. **Acidez do solo e calagem**. Boletim técnico nº 1, 3. ed., São Paulo, 1990.

LUCENA, C. C. **Polos de produção de mamão no Brasil**. Dados eletrônicos. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2016.

LUZ, A. B.; SAMPAIO, J. A.; FRANÇA, S. C. A. **Tratamento de minérios**. 5.ed., Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2010.

MCCAULEY, A.; JONES, C.; JACOBSEN, J. **Plant nutrient functions and deficiency and toxicity symptoms**. Nutrient Management Module, n. 9, 2011.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA. **Plano de ação para prevenção e controle do desmatamento e das queimadas: cerrado**. Brasília: MMA, 2011. 200 p.

MUNIZ, C. O.; LÔBO, L. M.; FERNANDES, F. P. R.; FERREIRA, E. M.; BRASIL, E. P. F. Efeito de diferentes adubos npk no processo de produção de mudas de eucaliptoma. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v.9, n.17, p. 1162-1168, 2013.

NAIME, R. H. SPILKI, F. R. **Preservação ambiental e o caso especial do manejo de resíduos de laboratório**: conceitos gerais e aplicados. Novo Hamburgo, 2012. 14 p.

NOLASCO, A. M. Gestão de resíduos sólidos na indústria madeireira. **Revista da Madeira**, São Paulo, n. 77, 2003.

OLIVEIRA, L. R. et al. Chemical and mineralogical characterization and soil reactivity of brazilian waste limestones. **APCBEE procedia**, v. 9, p. 8-12, 2014.

OLIVEIRA, M. Madeira da borracha: estudo mostra a viabilidade do uso do tronco da seringueira para produzir móveis. **PESQUISA FAPESP**, São Paulo, n. 170, abr. 2010.

PAGLIARINI, M. K.; CASTILHO, R. M. M.; ALVES, M. C. Influência de fertilizantes convencional e de liberação lenta no desenvolvimento de mudas de jequitibá (*Cariniana legalis*). **Tecnologia & Ciência Agropecuária**, João Pessoa, v.8, n.1, p.23-27, mar. 2014.

PURNOMO, C. W. et al. Slow release fertilizer preparation from sugar cane industrial waste. **Environmental technology & innovation**, v. 10, p. 275-280, 2018.

PRESS, F.; SIEVER, R.; GROTZINGER, J.; JORDAN, T. H. **Para entender a Terra**. 4.ed., Porto Alegre: Bookman, 2006.

PROCHNOW, L. I. **Avaliação e manejo da acidez do solo**. Informações agronômicas, n.146, jun., 2014. Disponível em <
[http://www.ipni.net/publication/iabrasil.nsf/0/143D23BC9CD69A9E83257D0B004321CC/\\$FILE/P age5-9-146.pdf](http://www.ipni.net/publication/iabrasil.nsf/0/143D23BC9CD69A9E83257D0B004321CC/$FILE/P age5-9-146.pdf) > Acessado em: 20 de nov. 2018.

REVUELTA, M. B. **Mineral resources**: from exploration to sustainability assessment. Springer International Publishing, 2018. p. 423-431

RÓS, A. B.; ARAÚJO, H. S.; NARITA, N. Uso de fertilizante de liberação lenta na produção de mudas de batata-doce em bandeja. **Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 6, p. 2667-2674, nov./dez. 2013.

ROSSA, U. B.; ÂNGELO, A. C.; NOGUEIRA, A. C.; WESTPHALEN, D. J.; BASSACO, M. V. M.; MINALI, J. E. F.; BIANCHIN, J. E. Fertilizante de liberação lenta no desenvolvimento de mudas de *Schinus terebinthifolius* e *Sebastiania commersoniana*. **Floresta**, Curitiba, v. 43, n. 1, p. 93-104, jan/ mar. 2013.

ROSSA, Ü. B.; ANGELO, A. C.; WESTPHALEN, D. J.; OLIVEIRA, F. E. M.; SILVA, F. F.; ARAUJO, J. C. Fertilizante de liberação lenta no desenvolvimento de mudas de *Anadenanthera peregrina* (L.) Speg. (Angico-Vermelho) e *Schinus terebinthifolius* Raddi (Aroeira-Vermelha). **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 25, n. 4, p. 841-852, out.-dez., 2015.

SAMPAIO, J. A.; ALMEIDA, S. L. M. Calcário e dolomito. In: LUZ, A. D.; LINS, F. A. F. **Rochas e minerais industriais**: usos e aplicações. 2.ed., Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2008.

SANTAROSA, E.; PENTEADO JÚNIOR; J. F.; GOULART I. C. G. R. **Transferência de tecnologia florestal**: cultivo de eucalipto em propriedades rurais: diversificação da produção e renda. Brasília: Embrapa, 2014.

SANTOS, A. C. V. **Produção de mudas florestais**. Programa Rio Rural, Manual técnico n. 6, Niterói, 2008.

SAVOY, H. **Fertilizers and their use**. Agricultural Extension Service, 2010. Disponível em: <<http://utbfc.utk.edu/Content%20Folders/Forages/Fertilization/Publications/PB1637.pdf>>. Acesso em: 08 de set. 2018.

SCHWARTZKOPF, C. **Potassium, calcium, magnesium** - how they relate to plant growth. USGA Green Section, 1972. Disponível em: <<http://gsrpdf.lib.msu.edu/ticpdf.py?file=/1970s/1972/721101.pdf>>. Acesso em: 05 de set. de 2018.

SHANLEY, P.; MEDINA, G. **Frutíferas e plantas úteis na vida amazônica**. Belém: CIFOR-Imazon, 2005.

SHAVIV, A. Controlled release fertilizers. In: **IFA international workshop on enhanced-efficiency fertilizers**. Frankfurt, 2005.

SILVA, A. P. M.; MARQUES, H. R.; SANTOS, T. V. M. N.; TEIXEIRA, A. M. C.; LUCIANO, M. S. F.; SAMBUICHI, R. H. R. **Diagnóstico da produção de mudas florestais nativas no Brasil**. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA, 2015. Disponível em: <http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/7515/1/RP_Diagn%C3%B3stico_2015.pdf>. Acesso em: 05 de set. 2018.

SIMÃO, L. A. **Fertilizantes de liberação controlada no crescimento e desenvolvimento do mamoeiro ‘THB’**. 2017. 42 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical) – Universidade Federal do Espírito Santo, São Matheus, 2017.

SOUSA, T. A. de. **Desenvolvimento de briquetes autorredutores com resíduo de fundição e fibra da palmeira**. 2002. 52 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Materiais) - Fundação Oswaldo Aranha/Centro Universitário de Volta Redonda, Volta Redonda, 2002.

SPRING, J. **Demanda global por alimentos devora o Cerrado brasileiro**. Reuters, 2018. Disponível em: <<https://br.reuters.com/article/topNews/idBRKCN1LD19Q-OBRTTP>>. Acesso em: 08 de set. 2018.

FEECO Internacional. **The agglomeration handbook**. 2016. Disponível em <<http://short.feeco.com/dl-agglomeration-handbook>> Acesso em: 20 de maio 2018.

TOMÁS, M. R. **Dossiê técnico: Cal e calcário**. Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas - SBRT, 2007. Disponível em: <<http://www.respostatecnica.org.br/dossie-tecnico/downloadsDT/MTgz>>. Acesso em: 05 de set. 2018.

TRENKEL, M. E. **Slow- and controlled-release and stabilized fertilizers: an option for enhancing nutrient use efficiency in agriculture**. 2.ed., France: IFA, 2010. Disponível em: <https://www.fertilizer.org/images/Library_Downloads/2010_Trenkel_slow%20release%20book.pdf>. Acesso em: 05 de set. 2018.

TRINDADE, A. V. **Mamão: Produção e aspectos técnicos**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2000.

UNIFERTIL - Universal de Fertilizantes. **Calagem**: importância e aplicação. Universal de fertilizantes, n. 6, maio, 2014.

VIDAL, F. W. H.; SALES, F. A. C. B.; ROBERTO, F. A. C.; SOUSA, J. F.; MATTOS, I. C. **Rochas e minerais industriais do Estado do Ceará**. Fortaleza: FUNCAP, 2005. 174 p. Disponível em: < <http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/495/1/livro-rochas-minerais-ceara.pdf>>. Acesso em: 08 de set. 2018.

WILLS, B.A.; FINCH, J.A. **Wills' mineral processing technology**: an introduction to the practical aspects of ore treatment and mineral recovery. 8.ed., Butterworth-Heinemann, p. 1 -27, 2015.


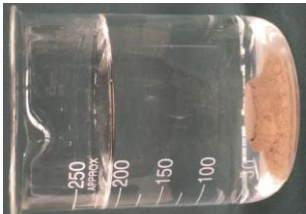
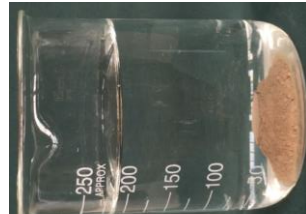


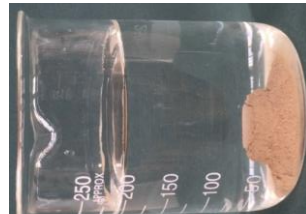
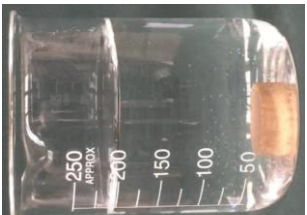
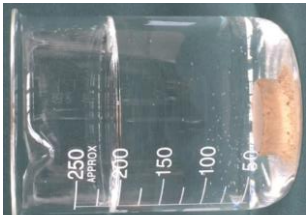
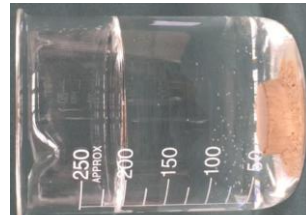
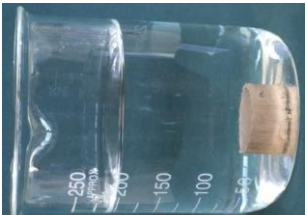

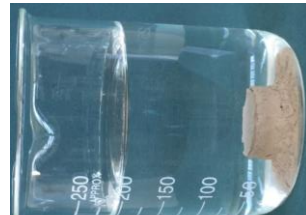
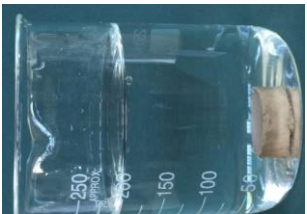
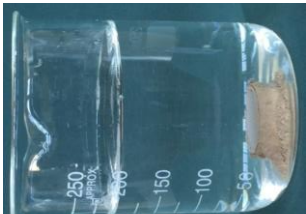
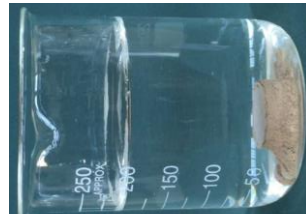

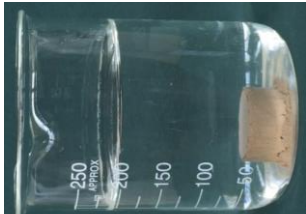
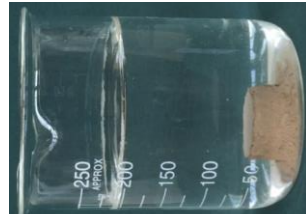
WILSEN NETO, A.; BOTREL, M. C. G. Doses de fertilizantes de liberação lenta na produção de mudas de pinus. **Revista Agrarian**, Dourados, v. 2, n. 3, p. 65-72, jan./mar. 2009.

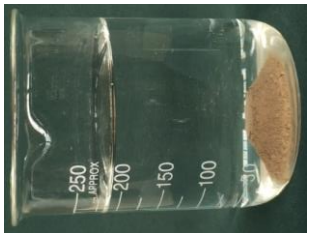
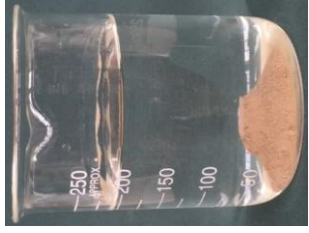


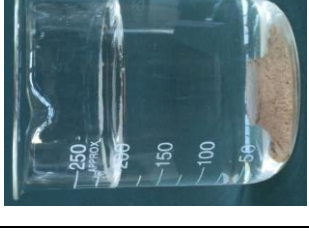



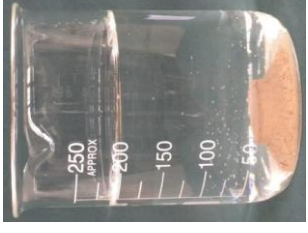



SAMPAIO, J. A.; COSTA, L. S. N.; ANDRADE, M. C. Capítulo 22. Ensaio contínuo de briquetagem em bancada e piloto. In: SAMPAIO, J. A. (Ed.); FRANÇA, S. C. A. (Ed.); BRAGA, P. F. A. (Ed). **Tratamento de minérios: práticas laboratoriais**. Rio de Janeiro: CETEM, 2007. 570p.


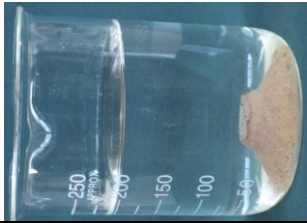


ZHANG, G.; SUN, Y.; XU, Y. Review of briquette binders and briquetting mechanism. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 82, p. 477-487, 2018.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Comparação das imagens de degradação em água para os diferentes tempos de cura.

Tempo	1 s	5 min.	10 min.
0 dias 5 g			
0 dias 7,5 g			
5 dias 5 g			
5 dias 7,5 g			
10 dias 5 g			
10 dias 7,5 g			

Tempo		0 dias 5 g	0 dias 7,5 g	5 dias 5 g	5 dias 7,5 g	10 dias 5 g	10 dias 7,5 g
15 min.							
20 min.							
30 min.	X						

Tempo	0 dias 5 g	0 dias 7,5 g	5 dias 5 g	5 dias 7,5 g	10 dias 5 g	10 dias 7,5 g
40 min.	X	X				
1 h	X	X	