

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GESTÃO ORGANIZACIONAL  
MESTRADO PROFISSIONAL EM GESTÃO ORGANIZACIONAL

MARIANA REZENDE DE BARROS

CARACTERIZAÇÃO E AVALIAÇÃO DA UTILIZAÇÃO DE AGLOMERANTES  
ORGÂNICOS E INORGÂNICOS NA AGLOMERAÇÃO DE FINOS DE CALCÁRIO

CATALÃO / GO  
AGOSTO 2016

**TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR AS TESES E DISSERTAÇÕES ELETRÔNICAS 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: Mariana Rezende de Barros

Título do trabalho: Caracterização e avaliação da utilização de aglomerantes orgânicos e inorgânicos na aglomeração de finos de calcário.

**3. Informações de acesso ao documento:**

Concorda com a liberação total do documento  SIM     NÃO<sup>1</sup>

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

Mariana Rezende de Barros  
Assinatura do (a) autor (a)

Data: 30 / 09 / 2016

<sup>1</sup> 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.

MARIANA REZENDE DE BARROS

CARACTERIZAÇÃO E AVALIAÇÃO DA UTILIZAÇÃO DE AGLOMERANTES  
ORGÂNICOS E INORGÂNICOS NA AGLOMERAÇÃO DE FINOS DE CALCÁRIO

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Gestão Organizacional da Universidade Federal de Goiás – Regional Catalão, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Gestão Organizacional na linha de pesquisa Inovação, Desenvolvimento e Tecnologia.

Orientador: Prof. Dr. André Carlos Silva

CATALÃO / GO

AGOSTO 2016

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

Rezende de Barros, Mariana

Caracterização e Avaliação da Utilização de Aglomerantes Orgânicos e Inorgânicos na Aglomeração de Finos de Calcário [manuscrito] / Mariana Rezende de Barros. - 2016.

CXXI, 121 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. André Carlos Silva.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, Unidade Acadêmica Especial de Gestão e Negócios, Catalão, Programa de Pós Graduação em Gestão Organizacional (profissional), Catalão, 2016.

Bibliografia. Anexos.

Inclui siglas, fotografias, gráfico, tabelas, lista de figuras, lista de tabelas.

1. Aglomeração. 2. Briquetagem. 3. Calcário. 4. Aglomerantes Orgânicos. 5. Resistência Mecânica ao Impacto. I. Carlos Silva, André, orient. II. Título.

CDU 622



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS  
REGIONAL CATALÃO  
MESTRADO PROFISSIONAL EM GESTÃO ORGANIZACIONAL



ATA DE SESSÃO PÚBLICA DE EXAME DE DEFESA DA DISSERTAÇÃO DO MESTRADO PROFISSIONAL NO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU* EM GESTÃO ORGANIZACIONAL DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS.

No dia primeiro (01) de agosto de dois mil e dezesseis, às 17:00 horas, na sala 215 do CGEN- Centro de Gestão e Negócios, Regional Catalão da Universidade Federal de Goiás, **MARIANA REZENDE DE BARROS**, discente do Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Gestão Organizacional (52001016061P6) da Universidade Federal de Goiás, expôs, em Sessão Pública o exame de defesa da dissertação intitulada **CARACTERIZAÇÃO E AVALIAÇÃO DA UTILIZAÇÃO DE AGLOMERANTES ORGÂNICOS E INORGÂNICOS NA AGLOMERAÇÃO DE FINOS DE CALCÁRIO**, para Comissão de Avaliação composta pelos (as) docentes: **Dr. André Carlos Silva** (Programa de Pós-Graduação em Gestão Organizacional/Universidade Federal de Goiás, Presidente da Comissão), **Dr. Geraldo Sadoyama Leal** (Programa de Pós-Graduação em Gestão Organizacional/Universidade Federal de Goiás – Membro Convidado Interno), **Dr. Diego Valentim Crescente Cara** (Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, Membro Convidado Externo), **Dra. Adriana dos Santos Prado Sadoyama** (Programa de Pós-Graduação em Gestão Organizacional/Universidade Federal de Goiás, Membro Convidado Suplente Interno) e **Dr. Nilson José Fernandes** (Universidade Federal de Goiás, Membro Convidado Suplente Externo). O trabalho da Comissão de Avaliação foi conduzido pelo docente Presidente que, inicialmente, após apresentar os docentes integrantes da Comissão, concedeu 30 minutos o (a) discente candidato (a) para que este (a) expusesse o trabalho. Após a exposição, o docente Presidente concedeu a palavra a cada membro convidado da Comissão para que estes arguissem o (a) discente candidato (a). Após o encerramento das arguições, a Comissão de Avaliação do trabalho de defesa avaliou a dissertação e o desempenho do (a) discente candidato (a) na exposição, considerando a trajetória deste no curso de mestrado profissional. Como resultado da avaliação, a Comissão de Avaliação deliberou pela:

Aprovação do trabalho de defesa

A Comissão de Avaliação declara o (a) discente candidato (a) **APROVADO NO EXAME DE DEFESA PÚBLICA**. A Comissão de Avaliação pode sugerir alterações de forma e/ou conteúdo consideradas aceitáveis, as correções, quando identificadas, devem ser realizadas no prazo máximo de 30 dias contados a partir do recebimento da Ata de Defesa. As alterações deverão ser indicadas no Anexo ao presente documento e/ou podem constar na versão lida pelo membro da Comissão de Avaliação para a sessão de defesa do trabalho de dissertação. Neste caso, a versão lida corrigida deverá ser entregue ao (a) discente candidato (a) no final da sessão

Reprovação do trabalho de defesa

De acordo com a Resolução – CEPEC N° 1109 é previsto a reprovação quando a Comissão de Avaliação determina que o trabalho apresentado não satisfaz as condições mínimas para ser considerado projeto de mestrado válido, em condições de se desenvolver um trabalho de conclusão de mestrado.

A Comissão de Avaliação:

Para uso da Coordenação/Secretaria do PPGGO	
 <b>Dr. André Carlos Silva</b> Membro Presidente Universidade Federal de Goiás	 <b>Prof. Dr. Wagner Rosalem</b> Coordenador do Mestrado Profissional do Programa de Pós-Graduação em Gestão Organizacional Universidade Federal de Goiás Coord. do Programa de Pós-Graduação em Gestão Organizacional-RC/UFG CTAPE: 1.563237 - Part. 0321
 <b>Dr. Geraldo Sadoyama Leal</b> Membro Convidado Interno Universidade Federal de Goiás	 <b>Prof. Dr. Geraldo Sadoyama Leal</b> Vice-Coordenador do Mestrado Profissional no Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Gestão Organizacional Universidade Federal de Goiás
 <b>Dr. Diego Valentim Crescente Cara</b> Membro Convidado Externo Universidade Federal do Rio de Janeiro	Observações: Visto Secretária: <i>Isabella Gomes dos Santos</i> EX. Defesa, n° 12/2016 Catalão, 02/08/2016
<b>Dra. Adriana dos Santos Prado Sadoyama</b> Membro Convidado Suplente Interno Universidade Federal de Goiás	
<b>Dr. Nilson José Fernandes</b> Membro Convidado Suplente Externo Universidade Federal de Goiás	
 <b>Mariana Rezende de Barros</b> Mariana Rezende de Barros Discente Candidato (a) Matrícula: 2015-0213	

## **AGRADECIMENTOS**

À DEUS pela sustentabilidade da vida, à capacidade do aprendizado e saúde para aproveitar as oportunidades oferecidas.

À minha família pela fortaleza que é, e sempre será o esteio que me ampara e conforta a todo o momento. Aos meus pais Valdimara Carneiro e José Francisco pelo amor incondicional, paciência e amizade. Ao meu irmão Marcelo Grijalva que sempre esteve ao meu lado me acalmando e animando. Obrigada por estarem sempre comigo.

Ao meu amor, Diego Faleiros, pela paciência, compreensão, apoio e carinho. Obrigada por fazer parte da minha vida e especialmente desse momento.

Ao meu orientador, Prof. Dr. André Carlos Silva, pelos ensinamentos, oportunidades e apoio, bem como a confiança, sinceridade e amizade.

À equipe do Laboratório de Modelamento e Pesquisa em Processamento Mineral por todo apoio. A todos os alunos da graduação que me ensinaram e apoiaram nessa caminhada de muito aprendizado. Em especial, agradeço aos alunos Douglas Marinho, meu braço direito, Dafne Letícia e Verônica Leite e aos amigos e colegas de mestrado Débora Nascimento, Raphael Silva, Izabela Letícia e Ana Maria Resende pelo companheirismo e experiência compartilhada nesta tarefa.

À Universidade Federal de Goiás e aos meus professores do Programa de Pós-graduação em Gestão Organizacional pelo acolhimento, ensinamentos e por todo apoio metodológico durante esse curso.

Ao CNPQ, CAPES, FUNAP e CETM, em especial à FAPEG, pela concessão da bolsa de formação, apoio tão importante durante esse período de constantes despesas.

Por fim, agradeço a todas as pessoas que de alguma forma colaboraram com meu aprendizado e elaboração deste trabalho.

## SUMÁRIO

RESUMO .....	16
ABSTRACT .....	17
1. INTRODUÇÃO .....	18
2. OBJETIVOS.....	20
2.1. Objetivo Geral.....	20
2.2. Objetivos Específicos .....	20
3. JUSTIFICATIVA.....	21
4. REFERENCIAL TEÓRICO.....	22
4.1. Tratamento de minérios .....	22
4.2. Rochas Sedimentares .....	24
4.2.1. Tratamento Mineral do Calcário.....	27
4.3. Calcário Agrícola.....	28
4.3.1. Produção Nacional de Calcário Agrícola .....	28
4.3.2. Correção da Acidez do Solo .....	30
4.3.3. Aplicação do calcário .....	33
4.4. Aglomeração Mineral .....	34
4.4.1. Conceito de Aglomeração Mineral .....	34
4.4.1.1. Pelotização.....	35
4.4.1.2. Sinterização .....	37
4.4.1.3. Briquetagem .....	37
4.4.1.3.1. <i>Histórico da Briquetagem</i> .....	37
4.4.1.3.2. <i>Processo de Briquetagem</i> .....	38
4.4.1.3.3. <i>Briquetagem utilizando aglomerantes e sem aglomerantes</i> .....	40
4.4.1.3.4. <i>Ensaio físicos e avaliação da qualidade dos briquetes produzidos</i> .....	41
4.4.1.4. Aglomerantes utilizados no processo de briquetagem dos finos de calcário ..	42
4.4.1.4.1. <i>Melaço de Soja</i> .....	42
4.4.1.4.2. <i>Melado de Cana-de-açúcar</i> .....	44
4.5. Materiais Particulados.....	47
4.6. Rejeito de Mineração .....	49

4.7. Passivo Ambiental .....	52
5. METODOLOGIA .....	54
5.1. Determinação da massa específica.....	54
5.2. Análise química dos finos calcário .....	56
5.3. Análise granulométrica dos finos calcários .....	56
5.4. Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) .....	57
5.5. Caracterização física dos briquetes de finos de calcário.....	58
5.5.1. Teste de Resistência ao Impacto ( <i>Shatter Test</i> ).....	59
5.5.2. Teste de Resistência à Compressão Uniaxial .....	60
5.5.3. Teste de Decomposição a Ação da Água .....	63
5.6. Preparo dos aglomerantes orgânicos utilizados na briquetagem dos finos de calcário – Melaço de Soja e Melado de Cana-de-açúcar.....	63
5.7. Análise estatística dos resultados de <i>Shatter Test</i> - ANOVA.....	64
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	66
6.1. Determinação da massa específica.....	66
6.2. Análise química do calcário.....	66
6.3. Análise granulométrica do calcário .....	67
6.4. Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) .....	69
6.4.1. Finos de Calcário.....	69
6.4.2. Briquetes de Finos de Calcário.....	71
6.4.3. Energia Dispersiva de Raios-X (EDS) .....	74
6.5. Caracterização física dos briquetes utilizando Água como aglomerante.....	77
6.5.1. Teste de Resistência ao Impacto ( <i>Shatter Test</i> ) .....	77
6.5.2. Teste de Decomposição a Ação da Água .....	82
6.6. Caracterização física dos briquetes utilizando Melaço de Soja como aglomerante ..	83
6.6.1. Teste de Resistência ao Impacto ( <i>Shatter Test</i> ) .....	83
6.6.2. Teste de Decomposição a Ação da Água .....	89
6.7. Caracterização dos briquetes utilizando Melado de Cana-de-açúcar como aglomerante.....	90
6.7.1. Teste de Resistência ao Impacto ( <i>Shatter Test</i> ).....	90
6.7.2. Teste de Decomposição a Ação da Água .....	95

6.8. Teste de Resistência à Compressão Uniaxial.....	97
6.9. Análise estatística dos resultados de <i>Shatter Test</i> - Analysis Of Variance (ANOVA)..	99
7. CONCLUSÕES.....	109
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	111

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Fluxograma de operações unitárias do processamento mineral.....	23
Figura 2: Diagrama do circuito básico de moagem e classificação de calcário por Moinho Raymond.....	27
Figura 3: Banco de dados estatísticos apresentando a produção de calcário agrícola no Estado de Goiás .....	29
Figura 4: Preços médios mensais pagos no calcário no Estado de São Paulo.....	30
Figura 5: Aplicação de uma colher de sopa com calcário agrícola em um vaso com plantas de feijão. ....	32
Figura 6: Estágios de formação das pelotas – Influência da água em sua formação.....	36
Figura 7: Princípio da compressão em prensas de rolos.....	39
Figura 8: Melaço de soja utilizado nos processos de aglomeração de finos de calcário.....	44
Figura 9: Aplicação de calcário agrícola convencional e a perda de material ocasionada pela ação do vento. ....	49
Figura 10: Fluxograma operacional do processo e realizações dos testes de aglomeração .....	54
Figura 11: Picnômetro de 100 ml utilizado durante o procedimento para determinar a massa específica do calcário.....	55
Figura 12: Cortes e vistas do cilindro utilizado para produção dos briquetes.....	58
Figura 13: Cilindros utilizados para produção do briquete. ....	58
Figura 14: Formas de aplicação das cargas no teste de Resistência à Compressão Uniaxial...	61
Figura 15: Moldes da briquetadeira apresentando extrusão do material com 10% de aglomerante em sua composição. ....	64
Figura 16: Gráfico da análise granulométrica .....	68
Figura 17: Resultados de MEV do calcário em pó com magnificações: (a) 300x e (b) 1000x 70	
Figura 18: Comparação entre as imagens de MEV realizadas entre briquetes com: (a) 7,5% de melaço de soja e (b) 7,5% de umidade, a mesma magnificação (500x).....	71
Figura 19: Comparação entre as imagens de MEV realizadas entre briquetes com: (a) 7,5% de melaço de soja (1000x) e (b) 7,5% de umidade (5000x).....	73
Figura 20: Análise química através de Energia Dispersiva de Raios-X (EDS).....	75
Figura 21: Quantidade de quedas em relação às alturas: (a) 0; (b) 5; (c) 7,5; (d) 10; (e) 12,5% de umidade.....	77

Figura 22: Representação gráfica dos dados de todas as porcentagens de aglomerante (água) nos testes de queda .....	80
Figura 23: Representação gráfica da porcentagem de ganho em resistência mecânica a partir da adição do agente aglomerante (água).....	80
Figura 24: Variação da massa específica dos briquetes em relação às umidades testadas.....	81
Figura 25: Tempo de imersão do briquete em água: (a) 4 segundos; (b) 50 segundos; (c) 1 minuto; (d) 1 minuto e 50 segundos; (e) 2 minutos; (f) 4 minutos e 30 segundos.....	83
Figura 26: Quantidade de quedas em relação às alturas: (a) 2,5; (b) 5; (c) 7,5; (d) 8,5% de melão de soja. ....	84
Figura 27: Representação gráfica dos dados de todas as porcentagens de aglomerante nos testes de queda.....	85
Figura 28: Ganho percentual em resistência ao impacto dos briquetes com: (a) 5% e (b) 7,5% de melão de soja em relação aos briquetes produzidos com água nas mesmas porcentagens. ....	86
Figura 29: Variação da massa específica dos briquetes em relação à porcentagem de aglomerante orgânico – melão de soja.....	87
Figura 30: Tempo de imersão do briquete em água: (a) 1 segundo; (b) 10 minutos; (c) 20 minutos; (d) 30 minutos; (e) 40 minutos; (f) 1 hora e 5 minutos. ....	89
Figura 31: Quantidade de quedas em relação às alturas: (a) 2,5; (b) 5; (c) 7,5; (d) 8,5% de melado de cana-de-açúcar .....	90
Figura 32: Representação gráfica dos dados de todos os testes de queda utilizando melado de cana-de-açúcar como aglomerante .....	92
Figura 33: Ganho percentual dos briquetes com: (a) 5% e (b) 7,5% de melado de cana-de-açúcar em relação aos briquetes produzidos com água nas mesmas porcentagens. ....	93
Figura 34: Variação da massa específica dos briquetes em relação à porcentagem de aglomerante orgânico .....	94
Figura 35: Tempo de imersão do briquete em água: (a) 1 segundo; (b) 10 minutos; (c) 20 minutos; (d) 30 minutos; (e) 40 minutos; (f) 45 minutos e (g) 50 minutos.....	96
Figura 36: Resultados dos testes de compressão realizados com os melhores resultados obtidos no teste de Resistência ao Impacto. ....	97
Figura 37: Valores médios de resistência mecânica ao impacto (30 cm), desvio padrão e análise estatística utilizando o teste de Tukey com 5% de significância dos briquetes produzidos com aglomerantes diferentes. ....	101

Figura 38: Valores médios de resistência mecânica ao impacto (60 cm), desvio padrão e análise estatística utilizando o teste de Tukey com 5% de significância dos briquetes produzidos com três tipos de aglomerantes.....	103
Figura 39: Valores médios de resistência mecânica ao impacto (90 cm), desvio padrão e análise estatística utilizando o teste de Tukey com 5% de significância dos briquetes produzidos com três tipos de aglomerantes.....	105
Figura 40: Valores médios de resistência mecânica ao impacto (120 cm), desvio padrão e análise estatística utilizando o teste de Tukey com 5% de significância dos briquetes produzidos com três tipos de aglomerantes.....	106
Figura 41: Valores médios de resistência mecânica ao impacto (150 cm), desvio padrão e análise estatística utilizando o teste de Tukey com 5% de significância dos briquetes produzidos com três tipos de aglomerantes.....	108

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Tipos de aglomerantes utilizados na briquetagem.....	40
Tabela 2: Nomenclatura adotada para descrever as dosagens de aglomerantes nas formulações dos briquetes a serem analisados no teste estatístico.....	65
Tabela 3: Resultados dos ensaios de determinação da massa específica do calcário.....	66
Tabela 4: Classificação do Calcário .....	67
Tabela 5: Classificação do PRNT (poder de neutralização total).....	67
Tabela 6: Análise química da amostra de calcário .....	67
Tabela 7: Vistas superiores e laterais dos briquetes antes e depois das realizações dos testes de queda a 30 cm de altura com briquetes utilizando água como aglomerante. ....	81
Tabela 8: Vistas superiores e laterais antes e depois das realizações dos testes de queda a 30 cm de altura com briquetes utilizando melaço de soja como aglomerante. ....	88
Tabela 9: Vistas superiores e laterais antes e depois das realizações dos testes de queda a 30 cm de altura com briquetes utilizando melado de cana-de-açúcar como aglomerante. ....	94
Tabela 10: Resumo dos dados de resistência ao impacto sob os fatores aglomerante e dosagem de aglomerante na altura de 30 cm. ....	99
Tabela 11: Análise de Variância utilizando fator duplo com repetição para resultados a 30 cm de altura .....	100
Tabela 12: Resumo dos dados de resistência ao impacto sob os fatores aglomerante e dosagem de aglomerante na altura de 60 cm. ....	101
Tabela 13: Análise de Variância utilizando fator duplo com repetição para resultados a 60 cm de altura .....	102
Tabela 14: Resumo dos dados de resistência ao impacto sob os fatores aglomerante e dosagem de aglomerante na altura de 90 cm. ....	103
Tabela 15: Análise de Variância utilizando fator duplo com repetição para resultados a 90 cm de altura. ....	104
Tabela 16: Resumo dos dados de resistência ao impacto sob os fatores aglomerante e dosagem de aglomerante na altura de 120 cm. ....	105
Tabela 17: Análise de Variância utilizando fator duplo com repetição para resultados a 120 cm de altura. ....	106
Tabela 18: Resumo dos dados de resistência ao impacto sob os fatores aglomerante e dosagem de aglomerante na altura de 150 cm. ....	107

Tabela 19: Análise de Variância utilizando fator duplo com repetição para resultados a 150 cm de altura .....	107
---	-----

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANOVA – *Analysis Of Variance*

CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente

CTC – Capacidade de Troca Catiônica

DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral

EDS – Energia Dispersiva de Raios – X

IAC – Instituto Agronômico de Campinas

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

MEV – Microscopia Eletrônica de Varredura

MPS – Material Particulado em Suspensão

NC – Toneladas de Calcário/ha para camada de 0-20 cm

PN – Poder de Neutralização

PNRS – Política Nacional de Resíduos Sólidos

PRNT – Poder Relativo de Neutralização Total

RE – Reatividade

ROM – *Run Of Mine*

Psólido – Massa Específica do Sólido

## RESUMO

A agricultura moderna exige produtividade, eficiência e qualidade. Por isso, há necessidade da aplicação do calcário agrícola para corrigir a acidez dos solos. O Centro- Oeste foi apontado como o maior produtor de calcário agrícola, com 38,2% e Goiás sendo detentor de 11,6%. No processo de beneficiamento do calcário ocorre a geração de material fino (passante em 400# (0,035 mm)), que não possui viabilidade econômica nos setores agrícola, metalúrgico e de calcinação. Isso ocorre porque essa granulometria de partícula diminui a percolação de gases nos altos-fornos e possui sedimentação lenta quando empregada na agricultura, podendo ser transportada pelo vento gerando passivo ambiental. A briquetagem consiste na aglomeração de partículas finas através de pressão, auxiliada ou não por aglutinantes, permitindo obtenção de produtos não só compactados, porém com forma, tamanho e parâmetros mecânicos. O objetivo do trabalho foi verificar a aglomeração dos finos de calcário por meio da briquetagem através aproveitamento de um tipo específico conhecido por possuir granulometria bastante fina ( $< 0,075$  mm) utilizando aglomerantes orgânicos e inorgânicos. A aglomeração dos finos de calcário através da briquetagem, foi realizada variando as dosagens de água (utilizada como agente aglomerante inorgânico) de 0; 5; 7,5; 10; 12,5% e 2,5; 5; 7,5 e 8,5% de aglomerantes orgânicos – Melaço de Soja e Melado de Cana-de-açúcar. O calcário em pó e os briquetes foram analisados química e fisicamente por meio de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), Energia Dispersiva de Raios-X (EDS), análises química e granulométrica. Os briquetes foram submetidos a testes de resistência ao impacto, resistência à decomposição em água e resistência a compressão. Os melhores resultados obtidos no teste de resistência ao impacto foram analisados e a partir desses resultados foram realizados os demais testes. Os resultados de resistência mecânica ao impacto foram analisados estatisticamente através da análise de variância (ANOVA), verificando se os fatores aglomerantes e dosagem influenciaram na aglomeração do mineral. Além de diminuir o passivo ambiental, os briquetes também irão gerar lucros para a indústria mineral, podendo oferecer um coproduto com características semelhantes ao produto originalmente comercializado.

**Palavras-chave:** Aglomeração; Briquetagem; Calcário; Aglomerantes orgânicos; Resistência mecânica ao impacto.

## ABSTRACT

Modern agriculture requires productivity, efficiency and quality. Therefore, there is need for the application of agricultural lime to correct the soil acidity. The Midwest was appointed as the largest producer of agricultural limestone, with 38.2% and Goiás and holder of 11.6%. In limestone beneficiation process is the generation of fine material (through in # 400 (0.035 mm)), which does not have economic viability in the agricultural, metallurgical and calcination. This is because this particle size of particle decreases the percolation of gas in blast furnaces and has slow settling when used in agriculture, can be transported by wind generating environmental liabilities. Briquetting is to agglomeration of fine particles by pressure, aided or not by a binder, allowing obtaining not only compacts, but with size, shape and mechanical parameters. The objective of this study was to investigate the binding of fine limestone through briquetting through use of a specific type known to have very fine grained (<0.075 mm) using organic and inorganic binders. Agglomeration of fine limestone through the briquetting was conducted by varying the amounts of water (used as inorganic binding agent) 0; 5; 7.5; 10; 12.5% and 2.5; 5; 7.5 and 8.5% organic binders - Molasses Soy and Treacle of cane sugar. The limestone powder and briquettes were analyzed chemically and physically by Scanning Electron Microscopy (SEM), Energy Dispersive X-ray (EDS), chemical and particle size analysis. The briquettes were subjected to impact resistance test, resistance to breakdown in water and compressive strength. The best results in impact resistance tests were analyzed and from these results of other tests were performed. The results of mechanical impact resistance were analyzed statistically by analysis of variance (ANOVA), checking if the binder content and factors influenced the agglomeration of the mineral. In addition to lowering the environmental liabilities, the briquettes will also generate profits for the mining industry and can offer a co-product with similar characteristics to the product originally marketed.

**Keywords:** Agglomeration; Briquetting; Limestone; Organic binders; Mechanical impact resistance

## 1. INTRODUÇÃO

As organizações, em meio a cenários tão competitivos, necessitam de modernos processos de gestão e tecnologias avançadas. Assim, cada vez mais as empresas estão buscando e utilizando estratégias para manter-se no mercado atual. Os fatores de produção, capital, trabalho e recursos naturais já não são suficientes para assegurar o progresso. Cada vez mais, o conhecimento e a tecnologia assumem papel estratégico no processo de desenvolvimento econômico (LOPES, 2012).

Avaliada como referência de desenvolvimento econômico, a mineração é uma das atividades mais antigas no mundo (LEITE *et al.*, 2003). O incremento da atividade agrícola e da construção civil no Brasil conduz um equivalente aumento da indústria cimenteira e de corretivos agrícolas o que, subsequentemente, sujeita as áreas de ocorrência de rochas carbonáticas de onde é extraída a matéria-prima para esses insumos: o calcário (LEITE *et al.*, 2003). A extração do calcário vem tendo um aumento significativo no Brasil nos últimos tempos, causando sérios problemas ambientais (BACCI *et al.*, 2006).

A indústria mineradora apresenta índices de destaque na economia do país. Conforme relatório do Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM, a participação do setor mineral nas exportações brasileiras, no ano de 2010, foi de 20%. Essa informação, dentre outros aspectos, demonstra a relevância da mineração no Brasil (DNPM, 2010). Nesse sentido, pesquisas que tragam inovações aos processos relacionados a esse setor são relevantes e importantes no intuito de promover um desenvolvimento constante de tal atividade.

Os dados sobre a produção brasileira de calcário destinado a corretivo da acidez dos solos foram obtidos através das informações publicadas anualmente ao Departamento Nacional de Produção Mineral - DNPM. A produção nacional de calcário agrícola em 2014, quando comparado a 2013, mostrou um crescimento de 2,74%, enquanto a safra brasileira de grãos crescer 3,6% no mesmo período, de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (MARTINS JÚNIOR, 2015).

As reservas lavráveis de calcário no Brasil estão relativamente bem distribuídas pelos estados e, como em muitos países, representam centenas de anos de produção nos níveis atuais. Os estados que mais se destacam no contexto brasileiro são: Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, Paraná e Goiás, que juntos detêm quase 60% das reservas medidas de calcário do país, além de Mato Grosso e Bahia. (MARTINS JÚNIOR, 2015).

Assim como toda exploração de recurso natural, a atividade de mineração provoca impactos no meio ambiente seja no que diz respeito à exploração de áreas naturais ou mesmo na geração de resíduos, e segundo CPRM (2002), os principais problemas oriundos da mineração podem ser englobados em cinco categorias: poluição da água, poluição do ar, poluição sonora, subsidência do terreno, incêndios causados pelo carvão e rejeitos radioativos.

Frequentemente, o mineral que não pode ser comercializado tal como se apresenta na natureza, necessita de diversos processos do tratamento da rocha que o contém. Paralelamente, ao beneficiamento do minério, ocorre, inevitavelmente, a produção de materiais de descarte conhecidos como resíduos e rejeitos (PASSOS, 2009).

Dessa forma, a necessidade de recuperar partículas finas oriundas de um processo de beneficiamento de minérios ou de resíduos, provocou o desenvolvimento da tecnologia de aglomeração. Esse avanço proporcionou o aproveitamento comercial da fração fina desses materiais, bem como, minimizou o impacto ambiental causado pela produção de material fino ou particulado. Hoje, a briquetagem permite a reutilização de rejeitos industriais seja como fonte de energia, ou seja, como matéria prima (CARVALHO e BRINCK, 2004).

Há também a importância de estudar o tamanho das partículas pelos efeitos negativos que essas assumem quando atingem certas faixas granulométricas e provocam nos seres humanos, principalmente em relação ao sistema respiratório. A Associação Americana do Pulmão indica que as partículas em suspensão no ar com diâmetro menor que 10  $\mu\text{m}$  ( $\text{MP}_{10}$ ), as chamadas partículas inaláveis, são as mais nocivas à saúde humana (GONÇALVES JÚNIOR, 2014).

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo Geral**

Verificar a aglomeração dos finos de calcário através da briquetagem utilizando aglomerantes orgânicos e inorgânicos.

### **2.2. Objetivos Específicos**

Os objetivos específicos consideram:

- Avaliar as propriedades físicas e químicas dos finos de calcário e dos briquetes;
- Realizar e avaliar testes de resistência ao impacto dos briquetes de calcário;
- Realizar e avaliar testes de resistência à decomposição em água dos briquetes de calcário;
- Realizar e avaliar testes de resistência à compressão dos briquetes de calcário;
- Avaliar a eficiência de aglomerantes orgânicos e inorgânicos na utilizados na aglomeração de finos de calcário.

### 3. JUSTIFICATIVA

A necessidade de aproveitar de maneira econômica os resíduos e as partículas finas geradas no tratamento de minérios está vinculada a criação de leis ambientais mais rigorosas, que fez com que um processo de aglomeração volte a ser uma importante alternativa para aglomerar valor econômico, a briquetagem.

Diante do mercado competidor consolidado, qualquer redução de custos, por menor que seja, pode gerar ganhos consideráveis. Os finos gerados pelo tratamento mineral de calcário é um passivo ambiental que possui gastos para sua conservação. A briquetagem é a opção indicada para amenizar ou até mesmo suprimir o problema de acúmulo de materiais em barragens de rejeito, proporcionando uma solução viável e hábil para a indústria e para o meio ambiente.

Além do passivo ambiental que esses resíduos podem causar ao meio ambiente também há a importância de estudar o tamanho das partículas, característica que está vinculada aos efeitos negativos, quando assumem certas faixas de tamanho, e provocam nos seres humanos, especialmente em relação ao aparelho respiratório. Partículas pequenas ( $<1\mu\text{m}$ ) se comportam como gás na atmosfera e estão sujeitas ao movimento browniano (movimento aleatório) ficando em suspensão no ar.

Enfim, a produção de briquete, além de ser uma forma de reutilização dos resíduos, ainda apresenta vantagem econômica com a geração de renda para a indústria, pela comercialização deste produto. Outras vantagens apresentadas são: a redução do volume de resíduos estacionados no pátio e redução do custo de transporte, pois os briquetes podem ser armazenados de forma a reduzir os espaços vazios durante seu transporte.

Esta pesquisa apoia-se no instante em que busca encontrar opções de utilização do resíduo da produção de calcário, possuindo como principal alternativa a utilização do briquete como corretor da acidez do solo, reduzindo impactos ambientais originados pelo descarte indevido e o manuseio desse material.

## 4. REFERENCIAL TEÓRICO

### 4.1. Tratamento de minérios

Os minerais fazem parte dos recursos naturais de um país, ao lado das terras para agricultura, das águas (de superfície e subterrânea), biodiversidade etc. Como as matérias-primas minerais possíveis de serem utilizadas diretamente ou transformadas pela indústria encontram-se distribuídas de maneira escassa na crosta terrestre, cabe às empresas de mineração, com base nas informações geológicas básicas, realizarem a pesquisa mineral em áreas previamente selecionadas, em busca de depósitos de potencial interesse econômico (LUZ *et al.*, 2010).

O primeiro texto que se constituiu em instrumento de referência sobre os bens minerais (*De Re Metálica*) foi publicado em 1556 por Georges Agrícola. Neste, já há registro da utilização do moinho tipo pilão movido a água, concentração gravítica através de calha e concentração em leito pulsante obtido com o auxílio de peneira em forma de cesta (um jigue primitivo) (LUZ *et al.*, 2010).

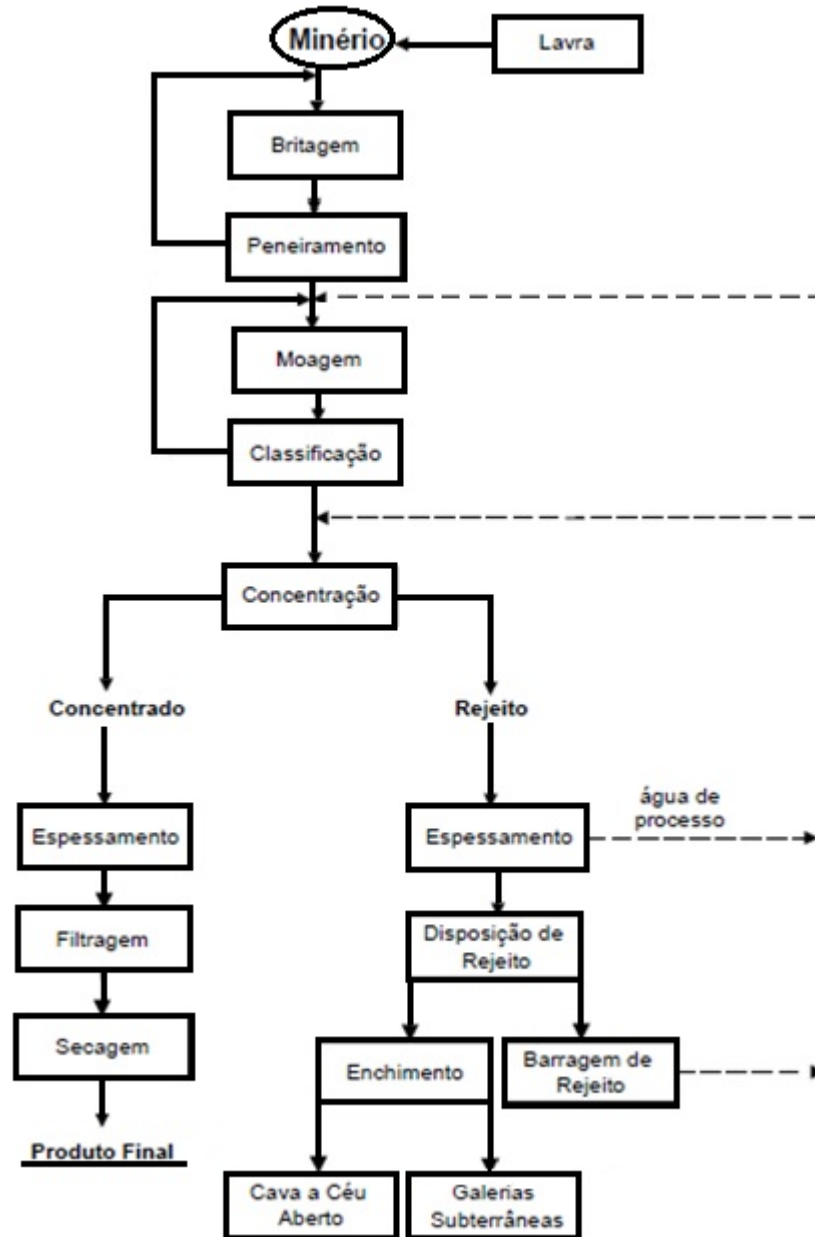
A partir do século XVIII, com a invenção da máquina a vapor, que se caracterizou como o início da revolução industrial, ocorreram inovações mais significativas na área de tratamento de minérios. Pela metade do século XIX, em 1864, o emprego do tratamento de minérios se limitava praticamente àqueles de ouro, cobre nativo e chumbo (LUZ *et al.*, 2010).

Qualquer atividade agrícola ou industrial, no campo da metalurgia, da indústria química, da construção civil ou do cultivo da terra, utiliza os minerais ou seus derivados. Os fertilizantes, os metais e suas ligas, o cimento, a cerâmica, o vidro, são todos produzidos a partir de matérias-primas minerais (LUZ *et al.*, 2010).

O tratamento de minérios é realizado através de processos industriais para adequação dos minerais, pois quase nunca estes se apresentam na natureza e na forma que serão utilizada, seja por estarem fora de especificações de tamanho ou por estarem associados a outros materiais, dada assim a necessidade destas ações (WILLS, 2006).

Para Wills (2006), a importância do processamento do minério é hoje um dado adquirido, porém nos insita a refletir que a menos de um século atrás, a concentração de minério foi muitas vezes uma operação bastante rudimentar, envolvendo gravidade simples e técnicas de triagem a mão realizados pelos operadores. Na Figura 1 a seguir são exibidos alguns processos importantes do beneficiamento de minério.

Figura 1: Fluxograma de operações unitárias do processamento mineral



Fonte: Adaptado de Luz *et al.*, 2010.

De acordo com Luz *et al.* (2010), um fluxograma típico de tratamento de minérios, com recirculação de água é constituído pelos itens a seguir. O minério bruto (com frequência denominado ROM, de “Run Of Mine”) procedente da etapa de lavra de uma mina passa por diversas operações unitárias, que são assim classificadas:

- (i) cominuição: britagem e moagem;
- (ii) peneiramento (separação por tamanhos) e classificação (ciclonação, classificação em espiral);
- (iii) concentração: gravítica, magnética, eletrostática, flotação etc.

- (iv) desaguamento: espessamento e filtração;
- (v) secagem: secador rotativo, *spray dryer*, secador de leito fluidizado;
- (vi) disposição de rejeito.

## 4.2. Rochas Sedimentares

Qualquer que seja a natureza de uma rocha, magmática, metamórfica ou sedimentar, ela passará por diferentes processos de intemperismo que irão originar diversos tipos de sedimentos (MACHADO *et al.*, 2015). As rochas sedimentares são rochas que resultam da desintegração e decomposição de rochas preexistentes (magmaicas, metamórficas ou sedimentares), graças à ação além do intemperismo, mas também da erosão, transporte (fluvial, marítimo ou eólico) e decomposição de sedimentos (clastos ou detritos) derivados da desagregação e decomposição de rochas na superfície terrestre (MACHADO *et al.*, 2015).

O processo de transformação de sedimentos em rochas é chamado de litificação que consiste em vários processos químicos. A classificação desses sedimentos detríticos e das rochas derivadas, é o tamanho dos grãos segundo a escala de Wentworth. Estas são: ruditos ou pséfritos, arenitos ou psamitose lutitos ou pelitos. Essas rochas possuem a propriedade de separação em placas devido a orientação dos minerais filossilicáticos (VASCONCELOS, 2013).

Talvez não haja outras rochas com uma variedade de usos tão ampla quanto o calcário e dolomito. Estas rochas são usadas na obtenção de blocos para a indústria da construção, material para agregados, cimento, cal e até rochas ornamentais. As rochas carbonatadas e seus produtos são também usados como: fluxantes; fundentes, matéria-prima para as indústrias de vidro; refratários; carga; agentes para remover enxofre, fósforo e outros, na indústria siderúrgica; abrasivos; corretivos de solos; ingredientes em processos químicos, dentre outros (SAMPAIO e ALMEIDA, 2008).

A rocha carbonática é um tipo de rocha sedimentar de origem química e/ou bioquímica composta essencialmente por minerais carbonáticos. Os principais minerais carbonáticos são a calcita ( $\text{CaCO}_3$ ), a dolomita ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ) e a aragonita ( $\text{CaCO}_3$ ). A siderita ( $\text{FeCO}_3$ ), a magnesita ( $\text{MgCO}_3$ ) e a ankerita ( $\text{Ca}(\text{Mg,Fe})(\text{CO}_3)_2$ ) também são minerais do grupo carbonatos, embora com menor participação na composição das rochas. Além dos minerais do grupo dos carbonatos, as rochas carbonáticas também podem apresentar argilominerais, quartzo, minerais fosfáticos, óxidos e sulfetos (SOUSA e VIDAL, 2005).

De acordo com Almeida (2009), a maioria das formações calcárias conhecidas tem origem orgânica marinha. As demais são de origem química, ocorrendo particularmente junto a fontes termais e minerais, lagos de águas salgadas e no interior de cavernas. Uma vez que o volume dessas últimas é enormemente ultrapassado por aquele das formações marinhas, pode-se dizer que onde há calcário há ou existiu um mar, e que tais rochas são provenientes da atividade de organismos que aí vivem ou viviam.

De acordo com Sampaio e Almeida (2008), na classificação mineralógica das rochas calcárias, deve ser considerada a variação nas proporções de calcita, dolomita, bem como dos componentes não-carbonatados. Tal procedimento é útil na descrição da rocha, especialmente quando combinado com os parâmetros de textura, entretanto não se adapta muito bem quando são abordadas aplicações industriais desse bem mineral.

Os calcários são as rochas sedimentares de maior volume na superfície da Terra, depois das rochas sedimentares silicosas. Essa expressão quantitativa aguça ainda mais a curiosidade do naturalista, visto que se trata de rochas cuja origem primária é essencialmente biológica e, cabe acrescentar, rochas essencialmente resultantes de sedimentos decorrentes da existência e da atividade de microrganismos. Imensos volumes de rochas, espalhados por todo o planeta, decorrentes da vida e do trabalho de minúsculos animais e plantas, que no ambiente marinho tiveram o seu habitat ao longo de milhões de anos. Algumas formações rochosas calcárias são de aparência mais uniforme que outras (ALMEIDA, 2009).

Distinguem-se, pois, formações rochosas calcárias de diferentes aspectos e origens, assim como rochas de diferentes tipos e variada composição física e química. O calcário calcítico, a dolomita, as concreções de calcita, e o mármore são diferentes tipos de rocha calcária, cuja respectiva composição físico-química preponderante vem conferir-lhes estreitíssimo parentesco (ALMEIDA, 2009). A seguinte classificação, firmada na idéia de mineral principal, tem sido amplamente adotada, conforme a seguir:

- Calcita ou carbonato de cálcio mineral, de fórmula  $\text{CaCO}_3$ . A calcita caracteriza o calcário chamado calcítico, ou seja, o calcário propriamente dito. A calcita é também o mineral característico do travertino, originário de águas de fontes termais e minerais, assim como das concreções cálcico-carbônicas formadas no interior das cavernas e, no seu estado metamórfico, dos mármore, embora estes também possam ser dolomitas metamórficas (ALMEIDA, 2009);
- Aragonita, um mineral de estrutura física diferente daquela da calcita, mas de igual composição química e, portanto, um  $\text{CaCO}_3$ . A aragonita é encontrada em associação com

outros minerais, inclusive em rochas que se originam em condições ou situações alheias às formações calcárias marinhas típicas. (ALMEIDA, 2009);

- Dolomita ou carbonato de cálcio e magnésio, de fórmula  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ , que caracteriza o chamado calcário dolomítico. Trata-se de um mineral cuja identificação se deve ao mineralogista francês Deodat de Dolomier e cujo processo de formação na natureza é, ainda hoje, objeto de disputa entre os estudiosos (ALMEIDA, 2009).

### 4.3. Calcário

Os calcários são rochas formadas a partir do mineral calcita, cuja composição química é o carbonato de cálcio. A procedência do carbonato pode variar, desde fósseis de carapaças e esqueletos calcários de organismos vivos, que compõem os calcários fossilíferos, até por precipitação química (MACHADO *et al.*, 2015).

A calcita ( $\text{CaCO}_3$ ) é o principal constituinte mineralógico dos calcários e mármore com elevada pureza. O calcário encontrado extensivamente em todos os continentes é extraído de pedreiras ou depósitos que variam em idade, desde o Pré-Cambriano até o Holoceno. As reservas de rochas carbonatadas são grandes e intermináveis, entretanto, a sua ocorrência com elevada pureza corresponde a menos que 10% das reservas de carbonatos lavradas em todo mundo (SAMPAIO e ALMEIDA, 2009).

Nas atividades diárias, é comum o uso de produtos contendo carbonato de cálcio nas mais variadas aplicações (SAMPAIO e ALMEIDA, 2009), tais como:

- (i) desde os materiais de construção civil à produção de alimentos;
- (ii) da purificação do ar ao tratamento de esgotos;
- (iii) do refino do açúcar à pasta de dentes;
- (iv) da fabricação de vidros e aço à fabricação de papéis, plásticos, tintas, cerâmica e tantos outros.

De acordo com Nahas e Severino (2003), desde os tempos remotos, o calcário tem sido amplamente utilizado para diversos fins. Tanto dos tempos remotos das cavernas, como dos tempos bíblicos onde pode-se constatar a existência de testemunhos relacionados ao uso dos calcários, dos dolomitos e dos seus produtos derivados em obras grandiosas e nos empregos domésticos.

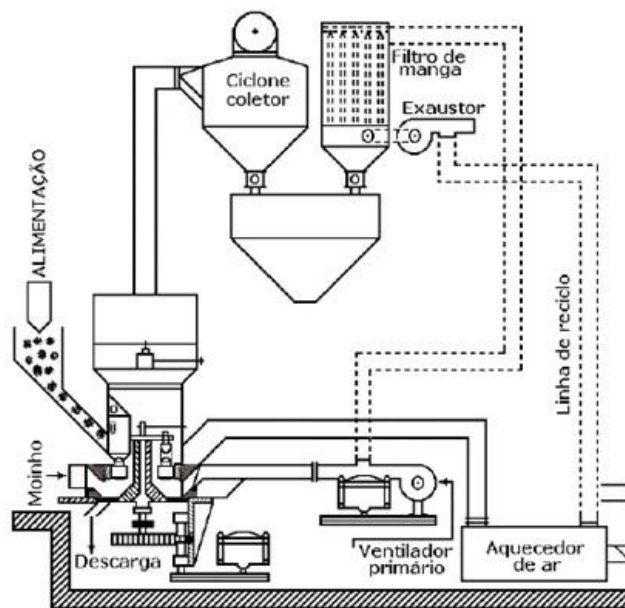
Os finos de calcário são matérias-primas obtidas através da moagem fina de calcário, basalto, materiais carbonáticos, etc. Devido a sua granulometria, tipicamente passante na peneira de 500#, esse material inorgânico aumenta a trabalhabilidade, diminui a capilaridade e a permeabilidade de argamassas e concretos (CALCÁRIO CUIABÁ, 2015).

#### 4.2.1. Tratamento Mineral do Calcário

Segundo Silva (2009), o tratamento das rochas carbonatadas, especialmente o calcário, depende do uso e especificações do produto final. A lavra seletiva, a catação manual, a britagem em estágio unitário e o peneiramento são os métodos usuais para obtenção de produtos, cuja utilização final não requer rígidos controles de especificações. Este é o caso, especialmente, para o calcário agrícola.

As etapas de britagem, classificação, moagem feitas via seca são realizadas em moinhos de rolos tipo Raymond ou em moinhos tubulares com bolas para cominuição do calcário, evitando a contaminação por ferro através de cuidados especiais. Os moinhos micronizadores ou de bolas são utilizados para moagem mais fina, com menos cuidados em relação a contaminação por ferro (SILVA, 2009). O equipamento utilizado para moagem do calcário pode ser visto na Figura 2.

Figura 2: Diagrama do circuito básico de moagem e classificação de calcário por Moinho Raymond



Fonte: Sampaio e Almeida, 2009.

### **4.3. Calcário Agrícola**

A agricultura moderna deve ser voltada ao desenvolvimento sustentável, criando e mantendo a produtividade do solo em longo prazo. Os sistemas agrícolas empregados no Brasil, de uma maneira geral, começam a ser questionados, quando relacionados aos conceitos de sustentabilidade, isto é, “usar sem depredar, de modo a que os recursos naturais, notadamente o solo e a água, possam ser transferidos às gerações futuras, com um legado usufruto, em condições de capacidade produtiva” (NAHAS e SEVERINO, 2008).

O calcário agrícola é um dos principais usos do calcário produzido no Brasil e no mundo, sendo que no Brasil o calcário utilizado para fins agrícolas representa mais de 21% do total do calcário produzido (SILVA, 2009).

Todas as rochas carbonáticas compostas predominantemente por carbonato de cálcio e/ou carbonato de cálcio e magnésio (calcários, dolomitos, mármore, etc.), independentemente da relação CaO/MgO, são fontes para a obtenção de corretivos de acidez dos solos, portanto, as reservas brasileiras de calcário agrícola podem ser consideradas como as mesmas reservas brasileiras de calcário, independentemente de sua aplicação (MARTINS JÚNIOR, 2015).

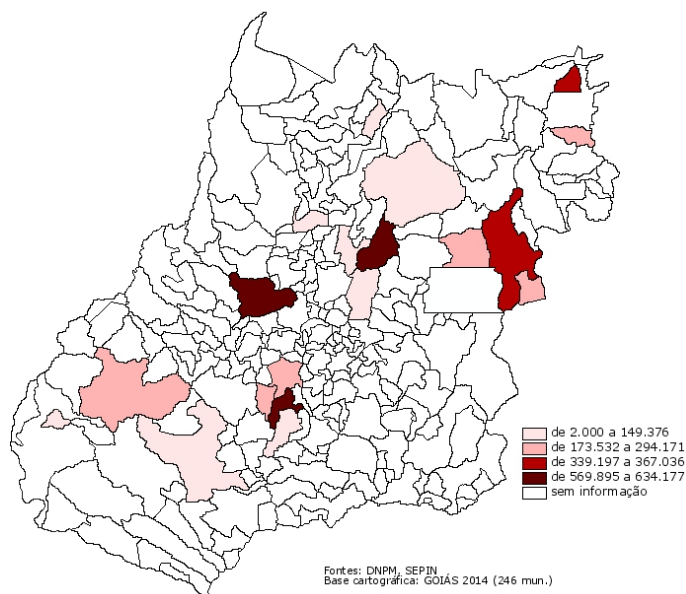
#### **4.3.1. Produção Nacional de Calcário Agrícola**

A estrutura da produção foi ligeiramente alterada em relação ao ano de 2013, apontando, ainda, o Centro-Oeste como a região de maior produção, com 38,1%, seguida, agora, do Sudeste com 25,9%, Sul com 23,8%, Norte com 7,5% e o Nordeste com 4,7%. Em 2014, os principais Estados produtores, responsáveis por cerca de 85% da produção nacional, foram: Mato Grosso, com 20,0%, Minas Gerais, 15,5%, Paraná, 13,8%, Goiás, 11,2%, São Paulo, 9,6%, Rio Grande do Sul, 8,4%, e Tocantins, 7,4%.

Segundo a Associação Brasileira dos Produtores de Calcário Agrícola (ABRACAL), para uma correção ideal do solo, o Brasil deveria produzir de 70 a 80 milhões de toneladas de calcário agrícola por ano (MARTINS JÚNIOR, 2015).

O Estado de Goiás possui um banco de dados estatísticos para apresentar a produção de calcário agrícola em 2014 em um tipo de agrupamento de intervalo de classes, como apresenta a Figura 3, a seguir. Este método constrói grupos de municípios de forma que o intervalo de classes (intervalo de cada grupo) é obtido dividindo-se a diferença entre o maior e menor da variável de análise pelo número de intervalos definidos.

Figura 3: Banco de dados estatísticos apresentando a produção de calcário agrícola no Estado de Goiás



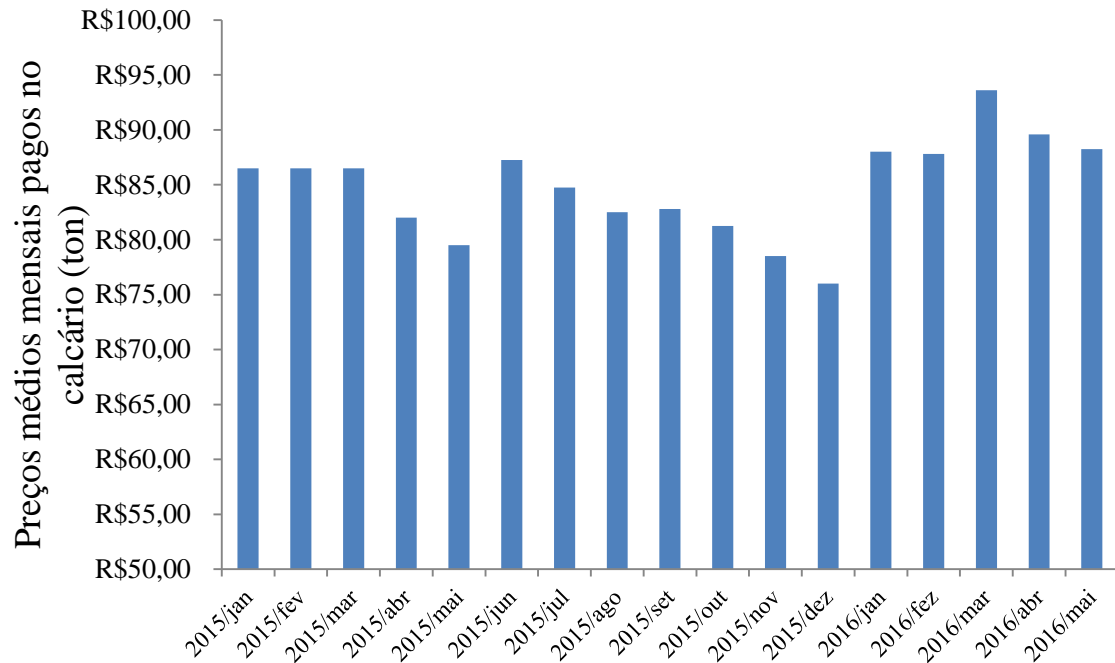
Fontes: DNPM – Base Cartográfica: Goiás 2014 (246) municípios (SEPIN, 2016).

O uso do calcário agrícola no Brasil é comum e vem sendo implementado há muito tempo no país. Segundo a Embrapa, as primeiras recomendações para a sua utilização com base em análise de solo provavelmente foram feitas em torno de 1925. Com solos majoritariamente ácidos, principalmente os da região do Cerrado, o produto representa uma alternativa relativamente barata, R\$ 50 a tonelada comercializada, por exemplo, para aproximar o pH do solo de uma faixa de neutralidade (MARTINS JÚNIOR, 2015).

De acordo com Martins Júnior (2015), embora o preço do calcário agrícola seja considerado baixo, principalmente quando comparado com outros insumos utilizados na agricultura, o frete determinado pela distância da região produtora é um dos fatores que desestimulam a sua aquisição pelos produtores agrícolas.

Segundo Oliveira (2000), o custo de produção torna-se um importante instrumento de planejamento e gerenciamento dos negócios agropecuários, induzindo a necessidade de redução dos custos e a aplicação de métodos de controle dos mesmos. Os preços pagos são aqueles praticados nos pontos de venda, os quais o agricultor se dirige para efetuar as compras necessárias para desenvolver sua atividade, de acordo com a Figura 4.

Figura 4: Preços médios mensais pagos no calcário no Estado de São Paulo



Fonte: Instituto de Economia Agrícola EA/CATI – (SAAESP, 2016).

#### 4.3.2. Correção da Acidez do Solo

De acordo com Lopes *et al.*, (1991), os solos podem ser naturalmente ácidos devido à própria pobreza em bases do material de origem, ou a processos de formação que favorecem a remoção de elementos básicos como K, Ca, Mg, Na e etc. Além disso, os solos podem ter sua acidez aumentada por cultivos e adubações que levam a tal processo.

Segundo Silva (2009), os atributos de qualidade dos calcários são medidos por: teor e natureza química dos constituintes neutralizantes; teores de cálcio e magnésio; granulometria; reatividade; e efeito residual. A qualidade do produto é determinada com base no PRNT (Poder Relativo de Neutralização Total), um índice dado pelo Poder de Neutralização (PN) e pela Reatividade (RE), e que é expresso pela Equação 1:

$$\text{PRNT (\%)} = \frac{\text{PN} \times \text{RE}}{100} \quad (1)$$

O conhecimento do PRNT permite apenas uma avaliação quantitativa da reatividade de um corretivo em um período máximo de três meses, não indicando, no entanto, seu efeito residual. Dentre as diversas características dos corretivos de acidez dos solos relacionados com a qualidade, duas se mostram as mais importantes: a granulometria e o teor de

neutralizantes, as quais determinam o Poder Relativo de Neutralização Total do corretivo (PRNT) (LOPES, 1991).

Ainda por Silva (2009), a avaliação da reatividade (RE) dos calcários agrícolas é dada pela ponderação das frações do produto retidas em cada uma das seguintes peneiras, juntamente com os valores correspondentes a essas frações:

- Reatividade zero para a fração retida em peneira de 2 mm (ABNT nº 10);
- Reatividade 20% para a fração que passa em peneira ABNT nº 10 e fica retida em peneira 0,84 mm (ABNT nº 20);
- Reatividade 60% para a fração que passa em peneira ABNT nº 20 e fica retida em peneira 0,3 mm (ABNT nº 50);
- Reatividade 100% para a fração que passa em peneira ABNT nº 50;

A classificação brasileira atual dos calcários agrícolas é dada pela Instrução Normativa SDA/ Nº 35, de 04 de julho de 2006, da Secretaria de Defesa Agropecuária do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), oferece orientações em relação às normas sobre especificações e garantias, tolerâncias, registro, embalagem e rotulagem dos corretivos de acidez, de alcalinidade e dos condicionadores de solo, destinados à agricultura e dividem os calcários agrícolas nas seguintes categorias, em relação ao teor de MgO (óxido de magnésio):

- Calcário calcítico, quando apresenta teor de MgO menor que 5%;
- Calcário magnesiano, com teor de MgO entre 5 e 12%;
- Calcário dolomítico, com teor de MgO acima de 12%.

De acordo com Korndörfer (2001), os benefícios trazidos pela aplicação do calcário agrícola são fornecimento de Ca e Mg, aumenta o pH, Reduz o  $Al^{3+}$ ,  $Mn^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$  em excesso, aumenta a disponibilidade de N, P, K, Mg, S, Mo e etc, e melhora a atividade bacteriana, aumenta a CTC (Capacidade de Troca Catiônica) do solo, diminui a fixação do P, diminuição da disponibilidade de micronutrientes, aumenta eficiência dos fertilizantes e aumenta a produtividade das culturas, como mostra o exemplo da Figura 5 a seguir.

Figura 5: Aplicação de uma colher de sopa com calcário agrícola em um vaso com plantas de feijão.



Fonte: Mansur, 2014.

Para propósitos da agricultura, Nahas e Severino (2003) afirmam que não há especificações definitivas dos teores de carbonato de cálcio a serem empregados para melhorar o desempenho agrícola; mas, quanto maior for o teor de  $\text{CaCO}_3$ , menor deverá ser a quantidade necessária para a sua aplicação.

Entretanto, os corretivos são utilizados sob forma de pó, para aumentar a sua reatividade e produzir melhor assimilação pelo solo. O tamanho das partículas é inversamente proporcional ao tempo de reação do produto com o meio ácido dos solos, ou seja, quanto mais fino o calcário, maior será a velocidade da reação (NAHAS e SEVERINO, 2003).

A quantidade de calcário a ser aplicada para determinado tipo de agricultura é fundamentada no resultado da análise de amostras do solo, cujo cálculo da quantidade a ser aplicada é baseado em diferentes métodos, sendo que o Instituto Agrônomo de Campinas – IAC, adota o de saturação por bases, COSTA (2000). A necessidade da calagem é determinada pela porcentagem de saturação por bases do solo e a tolerância da espécie ao menor ou maior grau de acidez do solo (TRANI, 2007), dada por:

$$NC = \frac{T.f.(V_2-V_1)}{100} \quad (2)$$

Onde:

NC = toneladas de calcário/ha para camada de 0-20 cm;

T = CTC a pH 7,0 ( $Ca^{+2} + Mg^{+2} + H^+ + Al^{+3}$ );

CTC = Capacidade de Troca Catiônica;

V<sub>2</sub> = saturação de base desejadas para a cultura (%);

V<sub>1</sub> = saturação de bases atuais do solo (%);

f = fator de correção parte PRNT = 100% ou 100/PRNT do calcário a ser aplicado.

Quando aplicado em profundidade, deve-se utilizar o seguinte fator de correção ao resultado final (NC final):

- De 0 a 30 cm – NC x 1,5;
- De 0 a 40 cm – NC x 2,0;
- Calagem Superficial – NC/2,0.

A incorporação do calcário ao solo se dá lentamente. Ela depende de vários fatores como a capacidade de retenção de água pelo solo, da aeração e da granulação do produto. Trata-se de uma reação química de carbonatos de cálcio (pouco solúveis) e água, para formação de hidróxido de cálcio – que neutraliza o meio ácido, aumentando a disponibilidade de fósforo, nitrogênio e boro (NAHAS e SEVERINO, 2003).

#### 4.3.3. Aplicação do calcário

A calagem e a adubação fosfatada são práticas de manejo da fertilidade do solo que elevam o rendimento das culturas, especialmente nas regiões de maior altitude do sul do Brasil, onde predominam solos extremamente ácidos e deficientes em fósforo (ERNANI *et al.*, 2000).

A aplicação de calcário eleva os teores de Ca e Mg, diminui ou elimina o Al trocável e aumenta as cargas negativas nesses solos que têm predomínio de cargas variáveis. Essas alterações químicas podem, entretanto, influenciar alguns atributos físicos do solo, por alterar o comportamento eletroquímico dos colóides. Esses efeitos são complexos e muitas interações podem ocorrer por meio de mecanismos muitas vezes ainda pouco conhecidos (HAYNES e NAIDU, 1998).

Para rotações que incluem leguminosas, o calcário deve ser aplicado entre três a seis meses antes da semeadura, especialmente em solos muito ácidos. A calagem feita poucos dias antes do plantio da alfafa ou do trevo, por exemplo, geralmente produz resultados decepcionantes, porque o calcário pode não ter tido tempo suficiente para reagir com o solo.

Se uma leguminosa como o trevo é plantada após o trigo de outono, o calcário deve ser aplicado no plantio do trigo. Independente da cultura, o calcário deve ser aplicado com a devida antecedência ao plantio para permitir a reação com o solo (KORNDÖRFER, 2001).

Para Korndörfer (2001), as formas cáusticas de calcário (óxido de cálcio e hidróxido de cálcio) devem ser espalhadas com bastante antecedência ao plantio para prevenir danos às sementes na germinação.

As afirmações generalizadas sobre a frequência da calagem são provavelmente inadequadas. A melhor maneira para se determinar a necessidade de uma nova calagem, é analisando-se o solo. As amostras de solo devem ser feitas a cada três ou cinco anos - mais frequentemente em solos arenosos. Os seguintes fatores influenciarão a frequência da calagem (KORNDÖRFER, 2001):

- Textura do solo - Os solos arenosos precisam receber nova calagem com mais frequência do que os solos argilosos;
- Dose de adubação nitrogenada - Altas doses de adubos  $\text{NH}^{4+}$  (amoniacais) geram considerável acidez;
- Taxa de remoção pelas culturas - As leguminosas removem mais Ca e Mg do que as não leguminosas;
- Quantidade de calcário aplicada - Doses mais elevadas normalmente significam que o solo não necessita de nova calagem com frequência. Não abuse do calcário.

#### **4.4. Aglomeração Mineral**

##### **4.4.1. Conceito de Aglomeração Mineral**

Aglomeração é o termo geral empregado para designar operações aplicadas a materiais de granulometria fina para transformá-los em corpos, ou fragmentos coesos, por meio da ligação rígida e consolidação de suas partículas, entre si, por meio de mecanismos físicos e/ou químicos, conferindo-lhes tamanho e forma adequada ao uso (CARVALHO e BRINCK, 2010).

Dependendo do minério envolvido o conceito de granulometria fina na indústria mineral pode alterar muito. Assim, no beneficiamento convencional de carvão, por exemplo,

as partículas com tamanho inferior a 0,6 mm são consideradas finas. Todavia, no beneficiamento de minério de ferro, a fração fina, não aproveitada pelo processo de flotação, pode apresentar partículas menores do que 20 µm. Dessa maneira, o conceito de fração fina não pode simplesmente ser generalizado (SAMPAIO *et al.*, 2007).

De acordo com Carvalho e Brinck (2004), o processo de aglomeração visa a transformação das características granulométricas de um material, permitindo o seu uso, como matéria-prima na produção de um determinado insumo. As aplicações mais frequentes são verificadas para o aproveitamento de:

- (i) minérios ou concentrados de granulação fina, sem causar prejuízos à permeabilidade da carga e às condições de reação gás-sólido nos fornos metalúrgicos, especialmente nos fornos verticais;
- (ii) resíduos, ou subprodutos finos de outros processos mineiros e metalúrgicos, para sua reutilização, ou reciclagem, de forma adequada, interna e/ou externamente;
- (iii) resíduos metálicos (cobre, ferro, titânio, etc) e outros materiais (papel, algodão, madeira, e outros) para transporte e/ou reciclagem.

Existem três principais processos de aglomeração de finos usados nos setores mineiro e metalúrgico, os quais são a pelotização, a sinterização e a briquetagem, cujos produtos são, respectivamente, a pelota, o *sínter* e o briquete (SAMPAIO, COSTA e ANDRADE, 2007).

De acordo com Carvalho e Brinck (2010), a escolha do processo ideal depende de uma análise cuidadosa e exaustiva, considerando parâmetros que definem as características físicas e químicas do material, o volume anual de material a ser processado, o investimento, os custos operacionais, entre outros.

#### **4.4.1.1. Pelotização**

A pelotização de minério de ferro é um processo relativamente novo em comparação com a história da mineração e metalurgia que datam da idade da pedra. Desenvolvido no início do século XX, o processo de Pelotização de minério de ferro foi criado inicialmente com o objetivo de aproveitar os finos de minério de ferro gerados durante sua lavra e beneficiamento e que não eram aproveitados nos processos de redução devido a sua dificuldade de manuseio e transporte, e principalmente, por diminuir a permeabilidade dos gases redutores no interior dos altos-fornos. Além disso, os materiais finos eram carregados pelo fluxo de gases durante o processo de redução, gerando grande quantidade de emissão de poeira na atmosfera (CAMPOS e CAMPOS, 2010).

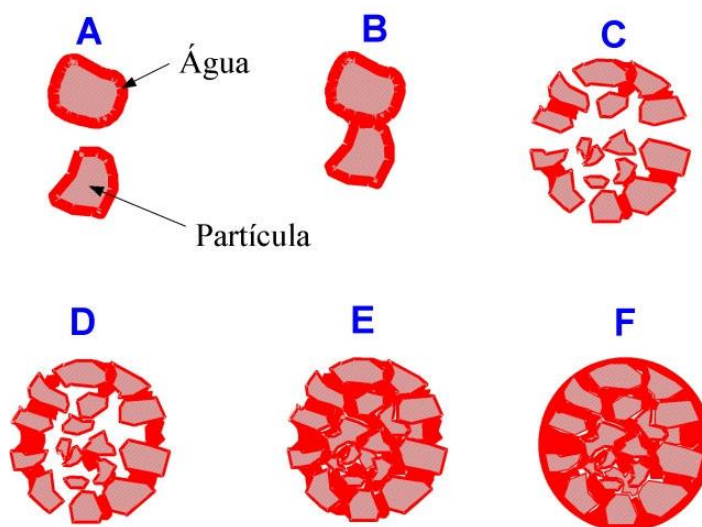
Este é um método de aglomeração utilizado para transformar frações finas de minério de ferro num produto adequado (pelota) à alimentação de alto forno e reatores de redução direta, onde será transformado em gusa ou ferro esponja. Inicialmente, as pelotas de minério de ferro eram produzidas comercialmente em tambores e, com o avanço da tecnologia, foram desenvolvidos os discos de pelotização (MORAES e KAWATRA, 2011). Atualmente, são utilizados ambos os equipamentos.

A adição de aglomerantes à mistura que se deseja pelotizar é necessária para:

- aumentar a viscosidade da fase líquida dentro dos capilares;
- manter a coesão das pelotas verdes;
- aumentar a resistência das pelotas tratadas termicamente.

Nesse contexto, a aglomeração tem por objetivo a agregação de partículas finas (menores que 1,0 mm) (CAMPOS e CAMPOS, 2010) que após um tratamento térmico, resultam em um agregado cujas características químicas e físicas - granulometria, resistência mecânica, entre outras - tornam seu uso adequado aos processos siderúrgicos (OLIVEIRA, 2003).

Figura 6: Estágios de formação das pelotas – Influência da água em sua formação



Fonte: Oliveira, 2003.

Segundo Oliveira (2003), o teor de água inserido na etapa de pelotamento depende do material a ser pelotizado e é um fator extremamente sensível no processo por influenciar diretamente a boa produção de pelotas cruas. O autor ainda afirma que a água possui participação no pelotização por dois mecanismos distintos e consecutivos: sua adsorção pela superfície das partículas e a umidade capilar retida pelo contato entre elas.

#### **4.4.1.2. Sinterização**

Sinterização pode ser definida como um processo físico, termicamente ativado, que faz com que um conjunto de partículas de determinado material, inicialmente em contato mútuo, adquira resistência mecânica. Durante a sinterização, a porosidade da estrutura é fechada. Para isto, material deve ser deslocado para preencher os espaços vazios, a maneira que ocorre este processo identifica os mecanismos para acelerar a sinterização que são: a sinterização por fase sólida, fase líquida, sinterização ativada, sinterização reativa (BRITO *et al.*, 2007).

De acordo com Carvalho e Brinck (2010), a sinterização se baseia na fusão incipiente dos componentes de uma mistura constituída de um componente principal e de adições de fundentes, promovendo a ligação rígida das partículas, com a solidificação da fase líquida. A sinterização não pode ser utilizada em casos, onde há alteração da composição química do material quando aquecido. Utiliza-se fundentes para formar a fase líquida (PROCESSO SIDERÚRGICO, 2015), o que aumenta a rapidez da produção e a qualidade do produto, pois a difusão no estado líquido é maior, aumentando a velocidade de sinterização.

#### **4.4.1.3. Briquetagem**

##### **4.4.1.3.1. Histórico da Briquetagem**

A primeira patente relacionada à briquetagem foi concedida a William Easby, em 1848. O processo desenvolvido por Easby possibilitava a formação de aglomerados sólidos de tamanho e forma variados, a partir de frações finas de qualquer tipo de carvão mineral, por meio da pressão exercida sobre esse material. Sendo assim, materiais de pequeno ou quase nenhum valor agregado podiam ser transformados em um produto de elevado valor que poderia ser utilizado como combustível para máquinas a vapor, forjas, culinária e outras aplicações, permitindo recuperar grande parte dos finos considerados como rejeito do processo de beneficiamento de carvão (CARVALHO e BRINCK, 2010).

Ainda pelos mesmos autores, Carvalho e Brinck (2004), a necessidade de recuperar partículas finas oriundas de um processo de beneficiamento de minérios ou de resíduos, provocou o desenvolvimento da tecnologia de aglomeração. Esse avanço proporcionou o aproveitamento comercial da fração fina desses materiais, bem como, minimizou o impacto ambiental causado pela produção de material fino ou particulado. Hoje, a briquetagem permite a reutilização de rejeitos industriais (finos de carvão vegetal, turfa, plásticos, lixo

biológico, limalhas metálicas e outros) seja como fonte de energia, ou seja, como matéria prima.

No Brasil, uma das primeiras iniciativas de utilização industrial do processo de briquetagem ocorreu no início da década de 60 na CSBM – Companhia Siderúrgica Belgo Mineira, na usina de João Monlevade, MG, com a instalação de um equipamento da empresa alemã Humboldt, para briquetagem de finos de carvão vegetal (CARVALHO e BRINCK, 2004).

O interesse da briquetagem no Brasil sempre esteve voltado para o aproveitamento dos finos de carvão vegetal oriundos da siderurgia, levando a maioria das pesquisas para o desenvolvimento de briquetes para usos nessa atividade (QUIRINO e BRITO, 1991). A recente preocupação ambiental, resultando em leis cada vez mais rígidas, fez com que a briquetagem ganhasse um novo impulso de aplicação na indústria (CARVALHO e BRINCK, 2010).

#### ***4.4.1.3.2. Processo de Briquetagem***

A briquetagem consiste na aglomeração de partículas finas por meio de pressão, com auxílio ou não de um aglutinante, permitindo a obtenção de um produto não só compactado, porém com forma, tamanho e parâmetros mecânicos adequados. A redução de volume do material, em alguns casos, além dos benefícios tecnológicos, permite que materiais finos possam ser transportados e armazenados de forma mais econômica (CARVALHO e BRINCK, 2010).

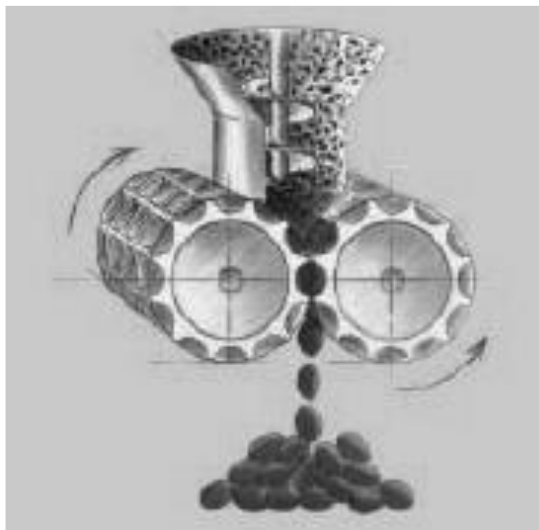
No processo de aglomeração de partículas finas em prensas, as forças de atração molecular de Vander Waals apresentam forte influência na união das partículas. Entretanto, somente tornam-se efetivas quando a distância entre as partículas é reduzida pela ação de uma força externa elevada (CARVALHO e BRINCK, 2004).

De acordo com Carvalho e Brinck (2010), durante a aplicação da pressão externa ao material a ser briquetado, podem ser utilizados três processos:

- briquetagem em prensas de rolos (Figura 7), onde o material flui continuamente, entre dois rolos paralelos, com cavidades ou moldes dispostos em sua superfície, de tamanho e forma adequados, rigidamente ligados entre si, girando com a mesma velocidade de rotação, todavia em sentidos contrários, dando origem a produtos conhecidos como “sabonetes”;
- briquetagem por extrusão contínua em máquinas do tipo maromba;

briquetagem em prensas hidráulicas, em que os moldes são preenchidos, de forma intermitente.

Figura 7: Princípio da compressão em prensas de rolos



Fonte: Carvalho e Brinck, 2010.

De acordo com Carvalho e Brinck (2010), a determinação das propriedades do material a ser briquetado permite conhecer o valor máximo da pressão a ser aplicada e também a taxa de compactação requerida pelo material. Possuindo o conhecimento do coeficiente de atrito do material gera-se uma previsão do comportamento, no momento da saída dos rolos e, também, se a superfície dos briquetes úmidos poderá ser ou não danificada durante a queda.

E finalmente, o teor de umidade do material é outro fator importante antes da adição do aglutinante. A umidade ideal depende do material e do tipo de aglutinante utilizado, além de influenciar no valor da pressão a ser aplicada. Para estabilizar e otimizar a umidade nos briquetes é importante que sejam tomados cuidados especiais com o controle do processo. O ajuste da quantidade de água na mistura torna-se ainda mais importante quando se aglomera materiais termo-plásticos e também quando são utilizados aglutinantes solúveis em água (CARVALHO e BRINCK, 2010).

Uma vantagem relacionada a briquetagem é a redução do volume do material, implicando em um armazenamento de energia maior em um menor espaço para estocagem. Além de atribuir ao material alto poder calorífico, maior temperatura de chama, facilidade de manuseio, menor índice de poluição e é ecologicamente correto (FLORES *et al.*, 2009).

#### 4.4.1.3.3. Briquetagem utilizando aglomerantes e sem aglomerantes

Diversos materiais são briquetados com aglomerantes (SAMPAIO *et al.*, 2007). Os aglomerantes são divididos, de acordo com sua função, em aglomerantes do tipo matriz, tipo película e aglomerantes químicos (KOMAREK, 1967). Alguns exemplos de cada aglomerante são listados na Tabela 1.

Tabela 1: Tipos de aglomerantes utilizados na briquetagem

Matriz	Filme	Aglomerantes Químicos
Alcatrão	Água	Ca(OH) <sub>2</sub> + molasses
Asfalto de petróleo	Silicato de sódio	Silicato de sódio + CO <sub>2</sub>
Cimento Portland	Lignosulfonatos	Epóxies

Fonte: Carvalho e Brinck (2010).

Aglomerantes do tipo matriz engastam as partículas em uma fase aglomerante substancialmente contínua. Portanto, as propriedades dos briquetes são determinadas, em grande parte, pelas propriedades do aglomerante (SAMPAIO *et al.*, 2007).

Sampaio *et al.*, (2007), exemplificam que aglomerantes do tipo película, como colas, geralmente, dependem da evaporação da água ou de algum solvente para desenvolver sua resistência e que aglomerantes químicos podem ser tipo película ou matriz.

Também é possível a produção de briquetes sem aglomerantes. Para Sampaio *et al.*, (2007), os briquetes feitos sem aglomerantes são geralmente produzidos à baixa pressão. Quando os briquetes são feitos sem aglomerantes, no entanto, o sucesso do processo depende da moagem ou deformação plástica das partículas para aproximá-las ao máximo. As forças que aglomeram esses cristais não são fortes nem específicas, portanto, é necessário somente comprimir os cristais individuais em estreito contato.

As variáveis mais importantes na produção de briquetes sem aglutinantes são (CARVALHO e BRINCK, 2010):

- umidade do material;
- capacidade de compressão das partículas;
- porosidade do briquete;
- tratamento térmico posterior à briquetagem.

Segundo Dec (2005), ligantes são utilizados para aumentar a resistência mecânica dos aglomerados, melhorando a qualidade física do briquete. Algumas limitações para o bom funcionamento do alto-forno devem ser impostas à utilização dos ligantes que contém enxofre, fósforo, álcalis e zinco, pois essas substâncias são prejudiciais ao processo.

A água é um ligante importante no fenômeno de aglomeração, pois ela entra em contato com as partículas hidrofílicas e pode ser absorvida pelos poros e se movimentar entre as partículas sob efeito da pressão capilar (LEMOS, 2015).

#### ***4.4.1.3.4. Ensaios físicos e avaliação da qualidade dos briquetes produzidos***

Para avaliação das propriedades físicas, existem alguns ensaios padronizados e os mais utilizados são: a resistência à compressão, ao impacto, à abrasão e à penetração de água descritos por Carvalho e Brinck (2010).

#### **Resistência à Compressão**

Utiliza-se este ensaio para determinar a resistência do briquete aos esforços compressivos, durante a sua estocagem. No ensaio, o briquete é submetido à pressão contínua e progressiva até que o mesmo fracture. A resistência à compressão é um parâmetro bastante significativo na avaliação da resistência do briquete ao manuseio, empilhamento, condições de trabalho, entre outros (CARVALHO e BRINCK, 2010).

#### **Resistência ao Impacto**

De acordo com Carvalho e Brinck (2010), este ensaio determina a resistência do briquete ao suportar repetidas quedas, simulando aquelas que ocorrem durante o manuseio e transporte. Antes do tratamento térmico (cura), a resistência ao impacto dos briquetes pode ser determinada por meio de ensaios de queda livre, a partir de uma altura de 0,3 m. Nesse ensaio é utilizado como anteparo, uma placa de aço com espessura de 10 mm. Se o briquete for submetido a um tratamento térmico para aumentar sua resistência mecânica, a altura do ensaio de queda livre deverá passar para 1,5 m.

A resistência ao impacto é determinada pelo número de quedas consecutivas que o briquete consegue resistir sem fragmentar. 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. Alguns autores mencionam outra forma de avaliação da resistência ao impacto, utilizando metodologia diferente para o ensaio de queda. A resistência

ao impacto passa a ser avaliada em função da quantidade de partículas do briquete com tamanho inferior a 3,3mm, após 20 quedas consecutivas de uma altura de 2,3 m de altura (CARVALHO e BRINCK, 2010).

Em alguns casos é determinado o número de quedas que o briquete resiste. Uma perda em peso de até 5% é considerada um valor ótimo. No entanto, os resultados são considerados ruins quando as perdas são superiores a 10% (CARVALHO e BRINCK, 2010).

### **Resistência à Ação da Água**

Consiste na avaliação do ganho de massa obtido pelo briquete, após a imersão em recipiente com água. É comum determinar a variação do peso, ao longo do tempo. Essa informação é muito importante para os casos em que os briquetes são estocados em ambientes externos (CARVALHO e BRINCK, 2010).

### **Massa Específica**

Trata-se de um dos parâmetros mais importantes para avaliar a qualidade do briquete. Pode ser determinado pelo quociente entre o peso do briquete e o volume, obtido a partir de suas dimensões. Outra forma de determinação do volume consiste no método clássico de medir o volume deslocado pelo briquete, quando o mesmo é imerso em um líquido (CARVALHO e BRINCK, 2010).

#### **4.4.1.4. Aglomerantes utilizados no processo de briquetagem dos finos de calcário**

De acordo com a Resolução - CNNPA nº 12, de 1978 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária existem 3 subprodutos originários da cana-de-açúcar, os quais são: melaço, melado e rapadura. O Melaço é o líquido que se obtêm como resíduo de fabricação do açúcar cristalizado, do melado ou da refinação do açúcar bruto. O Melado é o líquido xaroposo obtido pela evaporação do caldo de cana (*Saccharum officinarum*) ou a partir da rapadura, por processos tecnológicos adequados. E a Rapadura, é o produto sólido obtido pela concentração a quente do caldo de cana (*Saccharum officinarum*).

##### **4.4.1.4.1. Melaço de Soja**

O melaço de soja é apresentado como um resíduo agroindustrial obtido do processamento do grão de soja na produção de (farináceos protéicos) alimentos utilizados especialmente para a alimentação humana (SIQUEIRA *et al.*, 2008).

A produção de soja brasileira é estimada em 97,3 milhões de toneladas, que representam cerca de 51,5% da produção mundial (IBGE, 2015). É um co-produto da produção de farelo de soja com cerca de 70% de proteína (em base seca), obtido pela extração dos açúcares a partir de soja em óleo e utilizando uma mistura de água/etanol como solvente e sua principal aplicação é destinada a indústria de alimentos para animais.

O aglomerante já está sendo utilizado em diversas áreas da mineração e cada segmento utiliza-o visando benefício de sua atividade. Na mineração e na fundição o melaço de soja é utilizado, respectivamente, como aglutinador na fabricação de briquetes e aglutinador na fabricação de moldes. No processo siderúrgico é utilizado com intuito de reaproveitamento de resíduos (ferro e aço) na forma de briquetes. O melaço de soja também é destinado a indústria de fertilizantes como redutor de pó e pelotização e como refratário sendo aglutinador na produção de materiais de alta resistência térmica (SIQUEIRA *et al.*, 2008).

O produto também tem como principal vantagem: excelente palatabilidade quando utilizado como complemento em ração animal, possui fator aglutinante, é uma fonte de energia além de ser repelente para insetos, não possui sazonalidade (SIQUEIRA *et al.*, 2008).

O melaço é uma ótima fonte de carboidratos para alimentar e estimular os microorganismos benéficos do solo. Sua composição pode conter Potássio (K) (NPK médio em 1-0-5), enxofre e vários micronutrientes que servem para aperfeiçoar o solo. O melaço é ainda um excelente agente quelatizante, ou seja, contribui para disponibilizar outros nutrientes às plantas. Por ser oriundo de plantas e por sua fabricação ser um processo exclusivamente mecânico (não envolvendo qualquer agente químico), a vasta maioria de nutrientes minerais que estão contidos no produto original ainda estarão presentes no melaço (SIQUEIRA *et al.*, 2008).

O melaço de soja foi doado pela empresa Selecta situada em Goiânia/GO com o intuito de desenvolvimento de pesquisa na área de aglomeração mineral. O material utilizado no estudo é resultado do processo de concentração proteica do farelo de soja (SPC) via extração alcoólica. Para o bom entendimento, segue no Anexo I o Fluxograma Fabril (observar somente a coluna de “SPC”) e também sua ficha técnica. O melaço de soja foi recebido a partir de um processamento de soja na forma concentrada (sólidos solúveis 75-80%), sendo um material estável, e armazenado à temperatura ambiente (SELECTA, 2016).

Figura 8: Melaço de soja utilizado nos processos de aglomeração de finos de calcário



O novo aglomerante proposto com este estudo, baseado no óleo de soja, torna-se mais uma alternativa para o beneficiamento de minérios, em especial nas regiões de cultivo dessa espécie vegetal, regiões que estão entre as principais produtoras nacionais (SELECTA, 2016).

De acordo com a empresa Selecta, a produção gira em torno de 10.000 ton/mês com parada para manutenção da fábrica no mês de janeiro, possuindo uma esmagadora na cidade de Araguari/MG com comercialização de diversos produtos originados da soja, entre eles o melaço de soja.

O fabricante afirma que o material utilizado não possui toxicidade, pois se destina 80% de sua produção para alimentação animal. O preço do melaço de soja varia de acordo com a necessidade do mercado associado aos custos da matéria prima e industrialização, porém pode chegar a custar 30% a 40% mais barato que o melaço de cana dependendo do período do ano. Atualmente o material é comercializado ao preço de R\$ 330 t (FOB).

O volume mínimo para comercialização é de 35 t que é a capacidade de embarque de um caminhão tanque. Caso o melaço esteja em processo de estudo ou teste, há exceção para o embarque em containers de 1.000 l fixos em carroceria de caminhões comuns (SELECTA, 2016).

#### **4.4.1.4.2. Melado de Cana-de-açúcar**

A cultura da cana espalha-se pelo Centro-Sul e pelo Norte-Nordeste do Brasil, em dois períodos de safra, ocupando 2,4% da área agricultável do País. A região Centro-Sul - compreendida pelos Estados de São Paulo, Paraná, Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Rio de Janeiro e Espírito Santo - representa cerca de 85% da produção brasileira de cana. Já, os Estados de Alagoas, Pernambuco, Paraíba, Sergipe, Rio Grande do Norte e Bahia representam os 15% restantes da produção (VIAN, 2016).

O cultivo de cana no Brasil supera 470 milhões de toneladas, volume processado em 357 usinas - das quais 264 estão localizadas no Centro-Sul - o que faz do País o maior produtor mundial. Uma tonelada de cana rende, em média, 118 quilos de açúcar e dez litros de álcool, produzido a partir do mel residual (VIAN, 2016).

O Brasil é o maior produtor de açúcar de cana do mundo, com uma produção de 100 toneladas de cana de açúcar, onde são retirados de 10 a 11 de açúcar branco e 3 a 4 toneladas de melado. Depois de passar por um processo de limpeza, a cana de açúcar é moída, o caldo extraído é peneirado, as impurezas são retiradas e o melado é aquecido até o ponto de um xarope (HERING, 2016).

Quando utilizada apenas para a produção de etanol, considerando a tecnologia brasileira, 1 tonelada de cana é capaz de produzir cerca de 90 litros deste biocombustível. E se utilizada apenas para a produção de açúcar, 1 tonelada de cana produz 100 kg deste produto, além de gerar aproximadamente 20 litros de bioetanol a partir do melaço (MANOCHIO, 2014).

Da cana-de-açúcar pode-se aproveitar praticamente tudo, pois os subprodutos e resíduos podem ser utilizados na alimentação humana e animal, na fertilização de solos e na co-geração de energia. Dentre os subprodutos e resíduos, destacam-se o bagaço, torta de filtro, melaço (ou mel final), vinhaça, óleo fúsel, álcool bruto e levedura seca (ALCARDE, 2016).

O melado de cana-de-açúcar, subproduto da fabricação do açúcar, é relativamente abundante no Brasil e possui em sua composição uma grande variedade de açúcares fermentescíveis (VILLAVICENCIO *et al.*, 1999) e constitui-se no principal subproduto da indústria do açúcar, sendo produzido na proporção de 40 a 60 quilos por tonelada de cana processada. No Brasil, devido ao elevado teor de açúcares totais e demais componentes, o melaço é utilizado, principalmente, na fabricação de álcool etílico, sendo aproveitado, também, em outros processos biotecnológicos como matéria-prima para a produção de proteína, rações, levedura prensada para panificação, antibióticos, entre outros (ALCARDE, 2005).

No que diz respeito ao reaproveitamento dos subprodutos e resíduos da produção do açúcar destacam-se como soluções o uso do bagaço como combustível nas caldeiras e da torta de filtro na fertilização da lavoura canavieira, diminuindo assim os custos de produção. E também a utilização do melaço na fabricação do álcool etílico e venda dos resíduos excedentes alcançando dessa forma a maximização dos lucros (VIAN, 2016).

O processo de industrialização da cana-de-açúcar para a produção de etanol consiste basicamente no recebimento e processamento da matéria prima, extração do caldo da cana-de-açúcar, que é rico em sacarose, tratando-o para remover impurezas e utilizando-o para a produção de etanol (TONON, 2013).

A matéria prima chega à fábrica de caminhão e depois a cana-de-açúcar é pesada e é feita a análise do teor de açúcar. Após o processo de limpeza, a cana-de-açúcar triturada passa por vários moinhos, o que permite que o caldo, que é rico em açúcar, seja separado da parte fibrosa, conhecida como bagaço (VIAN, 2016).

O caldo da cana-de-açúcar que sai dos moinhos é tratado por meio de processos de aquecimento, clareamento e filtragem e, depois de ter sido misturado com o melaço residual da fábrica de açúcar, o mosto é obtido. Em seguida, essa mistura rica em açúcar é fermentada e então destilada para obter o etanol. O processo de fermentação é essencialmente conduzido em três estágios. Primeiramente, ocorre a separação e recuperação do leite de levedura do mosto fermentado (vinho bruto) na centrífuga. A seguir, o leite de levedura é preparado e tratado com água e ácido sulfúrico (VIAN, 2016).

É durante um dos processos, a moagem, em que o melaço é extraído da cana-de-açúcar. Nesse processo, a cana é moída por rolos trituradores, produzindo um líquido chamado melaço. Cerca de 70% do produto original viram esse caldo, enquanto os 30% da parte sólida se transforma em bagaço. Do melaço, continua-se o processo de fabricação do etanol, enquanto o bagaço pode ser utilizado à geração de energia na usina (NOVACANA, 2016).

Para eliminação dos resíduos presentes no melaço (restos de bagaço, areia, etc), o líquido passa por uma peneira. Em seguida, ele segue a um tanque para repousar, fazendo com que as impurezas se depositem ao fundo – processo chamado decantação. Depois de decantar, o melado puro é extraído e recebe o nome de caldo clarificado. O último processo de extração de impurezas é a esterilização, em que o caldo é aquecido para eliminar os micro-organismos presentes (NOVACANA, 2016).

O tratamento do caldo da cana-de-açúcar para a produção de açúcar consiste essencialmente de seis estágios: pré-aquecimento, sulfitação, decantação, aquecimento, clareamento e evaporação. A fase de evaporação basicamente consiste na remoção da água presente no caldo até a obtenção de um concentrado de sacarose chamado de xarope. O próximo passo envolve a produção de cristais de sacarose por meio de um processo de evaporação-cristalização (cuja matéria prima é o xarope), separando os cristais com a

centrífuga e posteriormente secando-os. O resíduo do processo de produção do açúcar, conhecido como melaço residual, é utilizado na produção de etanol (TONON, 2013).

Os custos de produção para o açúcar bruto no sudeste e centro-oeste do Brasil são menores do que nas regiões norte e nordeste devido à topografia e ao clima mais favoráveis, à infraestrutura de transporte mais desenvolvida e à maior proximidade das usinas de cana-de-açúcar nas regiões sudeste e centro-oeste aos portos e principais centros consumidores do Brasil. A privatização de diversas estradas, instalações portuárias e ferrovias melhorou o transporte e a infraestrutura de exportação no Brasil, levando à redução de custos do açúcar e tempos de entrega mais curtos para mercados mundiais (TONON, 2013).

De acordo com Melaços Brasil LTDA, o melado de cana-de-açúcar pode ser comercializado de várias maneiras, tais como: melado em pó (R\$ 1,85 - R\$ 46,25 kg), e melado líquido em galões de 30 e 70 l a R\$ 40 e R\$ 87, respectivamente, e tambores de 280 l a R\$ 345 reais (melaço + embalagem).

#### **4.5. Materiais Particulados**

Estudos sobre poluentes atmosféricos são largamente realizados pela sua influência negativa no clima, na saúde humana, na vegetação e sobre os materiais. A atmosfera é uma mistura heterogênea que possui gases, aerossóis e partículas (CATHERINE e SKINNER, 2007). A Resolução do CONAMA nº 003 de 28/06/1990 define que um poluente atmosférico é qualquer forma de matéria ou energia que ao atingir determinados níveis de concentração, quantidade, intensidade e entre outras características, se tornam nocivos ao meio ambiente.

Os poluentes podem provir de fontes e/ou processos naturais ou antropogênicos. As fontes naturais podem ser exemplificadas como as erupções vulcânicas, podendo emitir partículas que são caracterizadas como cinzas e gases; a queima natural de biomassa, caracterizada como cinzas, fuligem e carvão; partículas de origem biológica, como pólenes, esporos, fragmentos de plantas, bactérias, fungos e vírus (GONÇALVES JÚNIOR, 2014).

Em correspondência, as partículas geradas pelas atividades humanas, chamadas fontes antropogênicas, são principalmente decorrentes de processos industriais, usinas, processos agrícolas, veículos automotores e atividades de construção civil; além da queima de biomassa, geração de energia ou até mesmo a queima de floresta promovida pelo homem (KAMPA e CASTANAS, 2008).

A importância de estudar o tamanho das partículas está atrelada aos efeitos negativos que essas partículas, quando assumem certas faixas de tamanho, provocam nos seres humanos, principalmente em relação ao sistema respiratório (GONÇALVES JUNIOR, 2014). As partículas pequenas ( $<1 \mu\text{m}$ ) se comportam como gás na atmosfera e estão sujeitas ao movimento browniano (movimento aleatório). Essas partículas seguem fluxos de fluidos em torno de obstáculos e são capazes de coagular, ou seja, podem se juntar umas às outras, tornando-se partículas maiores. As partículas maiores são mais características de matéria sólida, pois elas estão fortemente sujeitas à ação da gravidade e raramente sofrem coagulação (STRANGER, 2005).

A classificação dos coloides é feita em função do tamanho das partículas e das fases dispersas (partícula) e dispersante. O comportamento e as propriedades dos coloides são regidos pelas interações entre aquelas duas fases, que podem ser: Forças de repulsão eletrostáticas (coulombianas), forças de atração de Van der Waal (dipolos permanentes ou induzidos), repulsão estérica (tamanho da partícula), solvatação e forças hidrodinâmicas (difusão) (GONÇALVES JUNIOR, 2014).

As partículas da fração grosseira são comumente geradas por processos de atrito mecânico e, devido ao seu tamanho, estão mais susceptíveis às forças da gravidade. Vale ressaltar que o valor limite para as partículas finas e grosseiras é geralmente tomado entre 2 e  $5 \mu\text{m}$  (GONÇALVES JÚNIOR, 2014).

Assim, a maioria dos estudos utilizam o valor de  $2,5 \mu\text{m}$  como sendo esse limite. Usualmente, se aceita que as partículas de tamanhos menores que  $2,5 - 5 \mu\text{m}$  sejam consideradas como a fração fina do material particulado em suspensão, resultantes de fontes antropogênicas. Partículas acima de  $2,5 - 5 \mu\text{m}$  são consideradas como a fração grosseira do material particulado em suspensão e estão comumente associadas a processos mecânicos (ALMEIDA, 1999).

Ao longo dos anos, diferentes nomenclaturas foram usadas para classificar os diferentes tamanhos de partículas. O material particulado em suspensão (MPS) são partículas suficientemente pequenas e leves que permanecem no ar por um período de tempo expressivo.

Na prática, estas partículas têm diâmetro inferior a  $100 \mu\text{m}$ . Com base no tamanho, o MPS pode ser dividido em fração grossa ( $2,5 - 100 \mu\text{m}$ ) e em fração fina ( $< 2,5 \mu\text{m}$ ). Este último compreende um subgrupo conhecido como partículas ultrafinas ( $< 0,1 \mu\text{m}$ ) (GONÇALVES JUNIOR, 2014).

De acordo com Alcarde (2005), do ponto de vista da aplicação deste material particulado na agricultura deve ser lembrado que o aumento do grau de finura aumenta também as dificuldades de aplicação, tanto em relação aos equipamentos aplicadores quanto às perdas em consequência do vento, e também o maior contato do corretivo com o operador. O autor Gonçalves Júnior (2014) ressalta que partículas finas, com diâmetro menor que 2  $\mu\text{m}$  podem ser transportadas mais de 1000 km da sua região de origem, como exemplifica a Figura 9.

Figura 9: Aplicação de calcário agrícola convencional e a perda de material ocasionada pela ação do vento.



Fonte: Grupo Mocelim (2016)

#### **4.6. Rejeito de Mineração**

As atividades relacionadas à produção mineral geram um volume significativo de massa do minério que é rejeitada nos processos de lavra e beneficiamento. A disposição desses rejeitos, à semelhança daqueles resultantes de atividades industriais, urbanas ou de pesquisas nucleares, é, na atualidade, um contratempo à indústria mineral (SOARES, 2010).

Rejeito de mineração é todo o material resultante de processos químicos e físicos envolvidos na extração dos metais. O tamanho das partículas de rejeito se encontra tipicamente na faixa de partículas de areias finas e siltes. As características químicas dos

rejeitos variam de acordo com o mineral de interesse e as substâncias químicas envolvidas no processo de extração dos metais (ARAÚJO, 2006).

De acordo com Abraão (1987), os resíduos estéreis são materiais sem nenhum valor econômico produzidos durante o decapeamento da jazida, dispostos geralmente em pilhas e/ou utilizados como material de empréstimo para construção de barreira de contenção. Ainda de acordo com Abraão (1987), os rejeitos são resultantes do processo de beneficiamento físico do minérios e também eventual tratamento químico. Assim como os resíduos estéreis, os rejeitos não possuem valor econômico, porém diferem dos rejeitos, pois estes últimos possuem grande quantidade de água.

A crescente geração de rejeitos tem conduzido, de acordo com Soares (2010), um aumento significativo das estruturas armazenadoras, fazendo com que, atualmente, as barragens de rejeitos encontrem-se entre as importantes obras da mineração. Simultaneamente ao aumento das dimensões dessas barragens, os vários acidentes ocorridos com as mesmas despertam a atenção da comunidade técnico-científica e de autoridades governamentais para a questão de segurança destas obras. A facilidade de operação e a inserção segura da obra no meio ambiente, associada à sua viabilidade econômica, são requisitos básicos de um sistema de disposição de rejeitos em barragens.

Em função do tipo de minério e do tratamento utilizado, os rejeitos podem variar de materiais arenosos não plásticos (rejeitos granulares) até solos de granulometria fina e alta plasticidade (lamas). Os rejeitos granulares, constituídos de partículas de granulometria de areias finas a médias, não plásticas, possuem alta permeabilidade e resistência ao cisalhamento e baixa compressibilidade. Já as lamas, constituídas por partículas de granulometria de siltes e argilas, possuem alta plasticidade, difícil sedimentação e alta compressibilidade (ARAÚJO, 2008).

Segundo Hendges (2012), o método mais utilizado para a disposição dos rejeitos minerais são as barragens ou diques que podem ser convencionais (em solo natural) ou alteadas com os próprios rejeitos. São três os métodos mais comuns de barragens de rejeitos: a) montante; b) jusante; c) linha de centro. Pode-se utilizar mais de um método iniciando-se, como exemplo, em linha de centro e alteando para montante no final. Estas barragens representam riscos sérios se não estiverem planejadas, operadas e mantidas adequadamente.

Em 2009 Minas Gerais tinha 500 barragens de rejeitos de mineração e a Fundação Estadual de Meio Ambiente considerou que 62 apresentavam riscos e precisavam de intervenções para melhorias na estabilidade. Em 2010, foi sancionada a Lei 12.334/2010 que

estabeleceu a Política Nacional de Segurança de Barragens. A elaboração de planos de gerenciamento dos resíduos sólidos de mineração e a realização de inventários são exigências da Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS (Lei 12.305/2010) (HENDGES, 2012).

Segundo Hendges (2012), no Brasil são produzidas 80 substâncias minerais com diversas tecnologias de extração e beneficiamento e as informações estão dispersas em vários órgãos governamentais federais e estaduais. Não existe controle ou cadastro nacional dos estéreis produzidos, mas o Inventário de Resíduos Sólidos Industriais e Minerários de Minas Gerais – 2008 estima que estes representem 70% a 80% do volume total dos resíduos de mineração naquele Estado.

De acordo com Hedges (2012), os minérios avaliados foram alumínio (bauxita), calcário, cobre, caulim, estanho, fosfato, ferro, manganês, níquel, nióbio, ouro, titânio, zircônio e zinco. No decênio 1996-2005 a produção de rejeitos minerais foi de 2.179 milhões de toneladas e os minérios mais poluentes foram ferro com 35,08%, ouro com 13,82%, titânio com 12,55% e fosfato com 11,33% com 72,78% do total neste período. Houve um crescimento da produção de rejeitos minerais no decênio considerado de 202.952 milhões de toneladas em 1996 para 290.273 milhões em 2005 com uma produção total de 2.179.975 toneladas.

Os inventários de resíduos sólidos de mineração realizados pelo Estado de Minas Gerais em 2008 e 2009 apontaram 101 e 123 milhões respectivamente, cerca de 30% do total de 2005. Mas é importante destacar que os cálculos de MG incluem somente os empreendimentos de grandes e médios potenciais poluidores, enquanto este diagnóstico embora não inclua todas as atividades de mineração considera 90% da produção mineral brasileira. Como exemplo, as rochas ornamentais produziram mais de 3 milhões de toneladas de rejeitos em 2010 (HENDGES, 2012).

Na atividade de mineração existem dois tipos principais de resíduos sólidos: os estéreis e os rejeitos. Os estéreis são os materiais escavados, gerados pelas atividades de extração (ou lavra) no decapeamento da mina, não têm valor econômico e ficam geralmente dispostos em pilhas. Os rejeitos são resíduos resultantes dos processos de beneficiamento a que são submetidas às substâncias minerais (SILVA, 2007).

No caso da lavra de calcário, ainda segundo Silva (2009), por este ser um produto com valor agregado relativamente baixo, não ocorrem elevados índices de remoção ou produção de estéril. Embora este volume de estéril não seja elevado em comparação à lavra de outros minérios, ao longo dos anos é gerado um grande acumulado.

É o caso da empresa que cedeu material para esta pesquisa, a qual está em atividade há mais de 40 anos no mercado e é a única de sua região que tem os 03 (três) tipos de calcário: Dolomítico, Magnesiano e Calcítico. A produção é de cerca de 10.000 t de produtos finais por mês o que gera uma grande movimentação de Run Of Mine (ROM) e, conseqüentemente material estéril, cerca de 90 t, o qual é depositado em pilhas.

#### **4.7. Passivo Ambiental**

Cada vez o termo “Passivo Ambiental” é mais significativo no cenário mundial; o assunto ganha cada vez mais dimensões sociais, econômicas e jurídicas. A correta classificação do passivo ambiental serve para saber a situação social e econômica da empresa. O Passivo Ambiental representa os danos causados ao meio ambiente e representa as obrigações de curto e longo prazo dos investimentos usados para amenizar ou extinguir os danos causados ao meio ambiente (NAUJACK, FERREIRA e STELA, 2011).

A mineração é hoje uma das mais importantes atividades econômicas do Brasil, inegavelmente dela decorreram impactos sociais, econômicos e ambientais negativos. Entretanto, esses impactos podem ser minimizados, se a atividade for planejada e executada dentro do conceito de sustentabilidade (BARRETO, 2001).

Os impactos ambientais associados à disposição de rejeito representam um passivo ambiental na atividade de extração mineral considerando principalmente o volume de rejeitos gerados bem como as extensas áreas destinadas à sua estocagem. Além disso, a ocorrência de grandes acidentes relacionada a estruturas de contenção de rejeito, no Brasil e no mundo, tem aumentado as exigências quanto ao controle de segurança dos sistemas de disposição de rejeitos (DIAS, 1985).

De uma forma geral, os rejeitos exibem características mineralógicas, geotécnicas e físico-químicas bastantes variáveis, tanto em função do tipo de minério explorado quanto do próprio processo de beneficiamento. Essas condicionantes geram dificuldades na obtenção de parâmetros físicos representativos, interferindo diretamente no controle do material e na estabilidade e segurança dos sistemas de disposição de rejeitos (BATES, 2003).

No Brasil, o Governo Federal, através do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), estabelece normas gerais, cabendo aos Estados e Municípios fixarem procedimentos de seu interesse, bem como licenciar, controlar e fiscalizar através das resoluções CONAMA 001/86 e Resolução CONAMA 237/97.

Para Faria (2015), o passivo ambiental, na prática corresponde ao valor referente aos custos com a manipulação e tratamento de áreas contaminadas, resíduos, multas e outros custos advindos da não observância da legislação ambiental e de cuidados com o meio ambiente, assim como os custos relacionados ao atendimento das normas e certificações, incluindo, segundo algumas definições, a responsabilidade pela preservação de unidades de conservação (embora possa parecer contraditório), e o próprio dano físico causado (como um rio poluído, uma erosão, etc.). Enfim, passivo ambiental é igual a obrigação e custos.

Para as empresas o passivo ambiental representa risco financeiro, além de custos para manutenção, e a redução do patrimônio líquido de forma que, empresas que possuem um passivo ambiental muito alto acabam perdendo valor no mercado e lucratividade. Assim, o passivo ambiental tem sido um tema que cada vez mais tem recebido a atenção das empresas tendo sido criadas diversas ferramentas para gerenciá-lo de acordo com o tipo de passivo ambiental que a empresa possui (FARIA, 2015).

De acordo com Araújo e Fernandes (2013), uma das formas de se obter informações sobre o passivo ambiental de uma empresa é através do EIA (Estudo de Impacto Ambiental) e do RIMA (Relatório de Impacto ao Meio Ambiente), solicitados no licenciamento de empresas causadoras de significativo impacto ao meio ambiente.

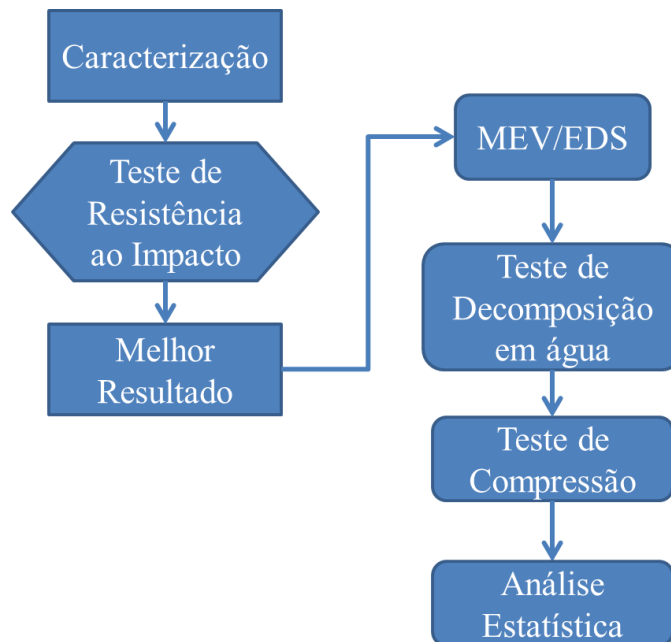
Empresas que não adotam medidas preventivas e corretivas para minimizar danos causados por elas e que não seguem normas estabelecidas em lei podem ser multadas por infrações, obrigatoriedade de recuperação ou restauração de áreas degradadas, interdição governamental das atividades, em casos de infrações abusivas ou reincidentes (BERTOLI *et al.*, 2006).

## 5. METODOLOGIA

Os experimentos deste trabalho foram realizados no Laboratório de Modelamento e Pesquisa em Processamento Mineral da Universidade Federal de Goiás - Regional Catalão, utilizando calcário (partículas com granulometria passante na peneira de 0,037 mm), proveniente da cidade de Lagamar - MG.

Os experimentos seguem o fluxograma que apresenta de forma rápida e clara o fluxo de informações e ações da sequência operacional dos processos realizados neste trabalho, na Figura 10 a seguir.

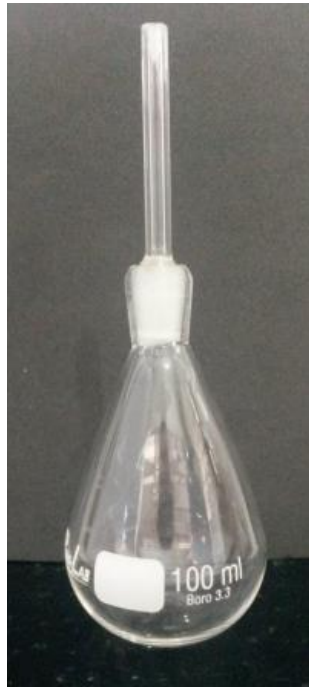
Figura 10: Fluxograma operacional do processo e realizações dos testes de aglomeração



### 5.1. Determinação da massa específica

O procedimento de picnometria foi utilizado no experimento para determinar a massa específica do calcário, esse processo permite calcular essa propriedade em substâncias sólidas e líquidas. Este método utiliza uma vidraria denominada picnômetro (Figura 11), do fabricante *Plena-Lab* com o volume de 100 mL, o qual possui baixo coeficiente de dilatação. O cálculo é realizado baseando-se na realização de quatro pesagens, utilizando a Equação 3.

Figura 11: Picnômetro de 100 ml utilizado durante o procedimento para determinar a massa específica do calcário.



$$\rho_{\text{sólido}} = \frac{m_2 - m_1}{(m_4 - m_1) - (m_3 - m_2)} \quad (3)$$

Onde:

m<sub>1</sub> – massa do picnômetro vazio e seco;

m<sub>2</sub> – massa do picnômetro com a amostra;

m<sub>3</sub> – massa do picnômetro com a amostra e água;

m<sub>4</sub> – massa do picnômetro com água.

Inicialmente o calcário utilizado foi preparado, separando uma pequena quantidade do material, e feita a verificação da nivelção da balança por ser de alta precisão, do fabricante SHIMADZU (modelo BL320H - precisão de 0,02 g a 320g).

O picnômetro foi manuseado com a utilização de uma luva para evitar a contaminação do picnômetro com gordura natural das mãos. Foi aferida a massa (m<sub>1</sub>) que é o picnômetro vazio, a massa do picnômetro mais a quantidade de amostra (m<sub>2</sub>), aferido a massa do próximo estágio (m<sub>3</sub>) com água e a amostra no picnômetro.

No momento em que a água foi inserida, inclinou-se o picnômetro para evitar a formação de bolhas, pois no recipiente ainda contém ar e dessa forma não pode conter em nenhum das massas e finalmente foi lavado o picnômetro para medir m<sub>4</sub> apenas com água.

Para maior confiabilidade dos valores obtidos foi realizado um controle da técnica do processo de picnometria, onde os testes foram repetidos 5 vezes, calculando a média e desvio padrão. Prática que se fez necessária uma vez que a massa específica do calcário tem grande variação dependendo de sua origem.

## **5.2. Análise química dos finos calcário**

A análise química foi realizada para determinar do Poder de Neutralização (PN) juntamente com a reatividade do corretivo (ER), o que define o Poder Relativo de Neutralização Total (PRNT), índice utilizado na escolha de calcários no Brasil.

O conhecimento desses valores se torna necessário a partir do momento em que a escolha errônea do mesmo pode prejudicar o produtor rural, pois muitas vezes esse não possui conhecimento especializado para aplicar o calcário de acordo com sua necessidade.

A análise química do material foi realizada pelo Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia e segue no Anexo I.

## **5.3. Análise granulométrica dos finos calcários**

A análise granulométrica do calcário foi realizada utilizando o analisador de partículas a laser Mastersizer da Malvern e a metodologia de utilização descrita por Almeida (2008). O Mastersizer 3000 utiliza a técnica de difração laser para medir o tamanho das partículas. Para isso, ele mede a intensidade da luz espalhada à medida que um feixe de laser interage com as partículas dispersas da amostra. Esses dados são então analisados para calcular a distribuição do tamanho das partículas obtidas a partir do padrão de espalhamento gerado.

O *Mastersizer 3000* é um equipamento muito utilizado em diversos laboratórios por apresentar medidas precisas de distribuição granulométrica de um conjunto de partículas dispersas no ar ou em líquidos (MALVERN, 2015). Este equipamento utiliza a técnica de difração de raios *laser* para a análise do tamanho da partícula. O mesmo consta de um circuito fechado de bombeamento e um agitador. Assim a suspensão a ser analisada é conduzida para uma pequena câmara no interior do equipamento, onde um feixe de *laser* incide perpendicularmente ao escoamento. Ao incidir sobre a amostra, cada *laser* sofre um desvio em função do tamanho das partículas que encontrava no meio (ALMEIDA, 2008).

As amostras analisadas no Mastersizer receberam um tratamento prévio. O qual consistia primeiramente na calibração do sistema ótico, através da medida do “branco” (água destilada e dispersante) que serviu como referencial para todas as demais medidas. O dispersante utilizado foi o hexametáfosfato de sódio (calgon), numa concentração aproximada

de 1 g/L de suspensão. A seguir transferiu-se a amostra para um béquer diluindo a com água destilada até aproximadamente 500 mL. Aplicou-se por aproximadamente 30 segundos um banho ultra-sônico para romper os possíveis aglomerados de partículas que existiam na amostra, conjuntamente com o dispersante, que por sua vez, mantinha as partículas afastadas umas das outras, evitando nova aglomeração.

Após os tratamentos descritos anteriormente iniciou-se as análises mediante ao uso do software de aquisição e tratamento de dados experimentais de *Mastersizer*. As informações obtidas deste *software* foram exportadas para uma planilha eletrônica na forma de diâmetro de partículas e suas correspondem frações mássicas acumulativas. Os resultados desta análise estão representados pelo gráfico de análise granulométrica.

#### **5.4. Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)**

A análise da imagem de diferentes alíquotas das amostras no microscópio eletrônico de varredura (MEV) acoplado a um espectrômetro de raios-x dispersivo em energia (EDS) permitiu obter uma descrição das seguintes características do minério: formas das partículas; liberação entre os minerais de interesse nas partículas e composição química.

A caracterização microestrutural foi realizada no Laboratório de Multiusuário de Microscopia de Alta Resolução (Labmic) na Universidade Federal de Goiás por Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV), Jeol, JSM – 6610, equipado com EDS, Thermo scientific NSS Spectral Imaging. Foram analisadas amostras de finos de calcário em pó, briquetes com 7,5% de água e com 7,5% de melão de soja.

No caso do pó, a amostra foi polvilhada na fita dupla face condutora de carbono e realizado o recobrimento com material condutor (carbono). Os briquetes foram cortados radialmente um porção de mais ou menos 2 cm de comprimento e deste pedaço outro corte longitudinalmente. Foram fixadas uma parte com o lado para cima e a outra parte com o topo para cima, para isto foi utilizada uma fita dupla face condutora de carbono e cola grafite. Após esse procedimento, a amostra foi recoberta com material condutor (carbono).

O motivo de não analisar a amostra de 0% é que nenhuma das partes fixou com fita e nem com a cola. Depois que a cola secava a amostra desgrudava tanto da cola como da fita.

### 5.5. Caracterização física dos briquetes de finos de calcário

Os testes avaliaram o potencial de aglomeração do calcário por meio da briquetagem, com água nas dosagens de 0; 5; 7,5; 10; 12,5% da massa de calcário, e melaço de soja e melado de cana-de-açúcar nas dosagens de 2,5; 5; 7,5 e 8,5% como agentes aglomerantes, utilizando uma massa de calcário de 15 g em cada composição elaborada.

O projeto inicial para fabricação do molde da briquetadeira pode ser analisado na Figura 12 a seguir. Após homogeneização da mistura de calcário e água, a massa resultante foi colocada na briquetadeira (Figura 13) e aplicada compressão uniaxial na mesma por meio de uma prensa hidráulica manual, de modo a promover a aglomeração do material.

Figura 12: Cortes e vistas do cilindro utilizado para produção dos briquetes

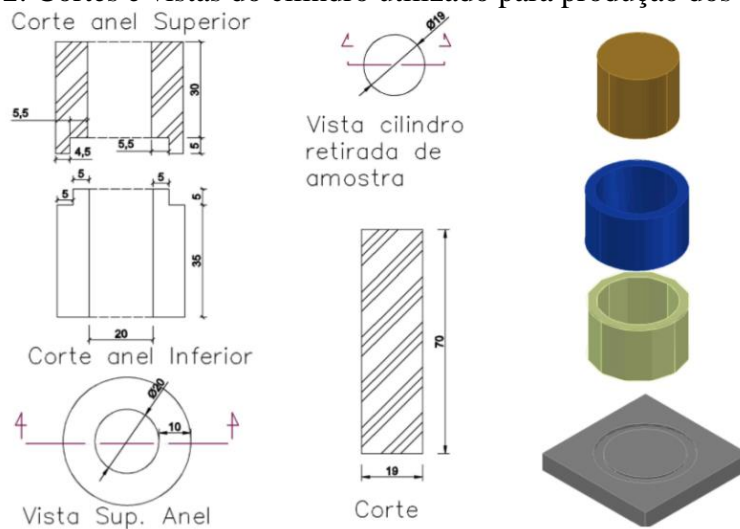


Figura 13: Cilindros utilizados para produção do briquete.



Durante o procedimento, o experimento era conduzido manualmente aplicando uma força de 3 toneladas por meio de uma prensa hidráulica da marca Nowak, com capacidade de 45.000 kg e com manômetro para controle da pressão exercida em um tempo cronometrado de dois minutos.

A adição da água foi realizada com pipetas graduadas para garantia do correto volume conforme a quantidade de líquido necessária. Em um béquer de 100 ml foi adicionado as 15 g de calcário e a quantidade de água parcelada em 3 vezes para garantir que a homogeneização da mistura fosse a melhor possível, sendo esta etapa realizada com ajuda de uma espátula. Após a determinação da quantidade de água para conformação dos briquetes os mesmos foram produzidos para realização dos testes de queda para avaliação de sua resistência ao impacto.

Todos os experimentos foram realizados por meio de triplicata para garantir a confiabilidade dos dados e os resultados apresentados em valores médios calculando o desvio padrão. A análise dos dados foi realizada por meio do software Microsoft Office Excel versão 2013. Os briquetes produzidos foram medidos (altura e diâmetro), fotografados e pesados antes dos testes de Resistência ao Impacto.

#### **5.5.1. Teste de Resistência ao Impacto (*Shatter Test*)**

Segundo Luz *et al.* (2010) o teste de Resistência ao Impacto (ou *Shatter Test*) determina a resistência do briquete ao suportar repetidas quedas, simulando aquelas que ocorrem durante o seu manuseio e transporte. Antes do tratamento térmico (cura), a resistência ao impacto dos briquetes pode ser determinada por meio de testes de queda livre, a partir de uma altura de 0,3 m. Nesse teste é utilizada, como anteparo, uma placa de aço com espessura de 10 mm. Se o briquete for submetido a um tratamento térmico para aumentar sua resistência mecânica, a altura do teste de queda livre deverá passar para 1,5 m.

A resistência ao impacto é determinada pelo número de quedas consecutivas que o briquete consegue resistir sem fragmentar. Para briquetes sem cura, considera-se 3 como um número razoável de quedas, enquanto que para briquetes submetidos a um tratamento térmico, o número de quedas passa para 10.

Foram adotadas as seguintes alturas para lançamento: 30, 60, 90, 120, 125, 150 cm e após cada lançamento o briquete era pesado e, caso a perda de massa fosse maior ou igual a 5% o teste era encerrado, caso contrário o briquete era lançado novamente. Após o teste de Resistência ao Impacto os briquetes e os fragmentos foram pesados e fotografados. Todos os

briquetes e seus fragmentos foram devidamente identificados e por fim, os briquetes foram pesados e medidos (diâmetro e altura) utilizando um paquímetro, de modo a calcular a massa específica de cada um deles.

### **5.5.2. Teste de Resistência à Compressão Uniaxial**

O ensaio de compressão uniaxial é um procedimento importante para determinar a carga última que um determinado material suporta antes de sofrer ruptura. Consiste numa aplicação de carga compressiva uniaxial em um corpo de prova. Nos ensaios de compressão, os corpos de prova são submetidos a uma força axial para dentro, distribuída de modo uniforme em toda seção transversal do corpo de prova.

O corpo de prova é posicionado entre duas placas metálicas sendo uma fixa e a outra móvel. À medida que estas placas estreitam a distância entre si através da aplicação de uma carga sobre a placa móvel, o corpo de prova sofre compressão.

Antes da ruptura propriamente dita o corpo de prova sofre uma deformação elástica, a seguir uma deformação plástica e finalmente ruptura. Enquanto a tensão aplicada se encontra na zona de deformação elástica o corpo de prova manterá suas características físicas originais mesmo após a tensão ser retirada. Já um valor de tensão que ultrapasse os limites de elasticidade e se situe no limite de plasticidade, ao se cessar a tensão aplicada sobre o corpo de prova, o mesmo permanecerá com outro formato que não o original, ou seja, haverá uma deformação residual.

Por fim, ultrapassado a zona de plasticidade e atingido o limite de ruptura, caracterizada pela ruptura física do corpo de prova, há perda de capacidade em oferecer resistência ao esforço aplicado.

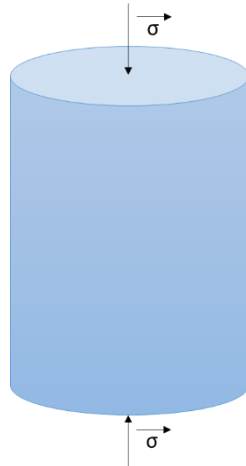
Os testes de Resistência à Compressão Uniaxial consistiram em comprimir uniaxialmente um briquete em uma prensa hidráulica do tipo macaco fabricada pela empresa VRC de capacidade de duas toneladas, conforme descrito pela norma NBR 12767/92 (ABNT, 1992). Segundo esta norma para a execução do ensaio adotam-se os seguintes procedimentos:

1. Colocar o corpo de prova no centro do prato inferior da prensa;
2. Movimentar o prato superior da prensa até obter ajuste dos pratos da prensa com o corpo de prova;
3. Aplicar cargas, de modo contínuo e progressivo, a uma taxa de aproximadamente 0,6 MPa/s até que ocorra a ruptura do corpo de prova;

4. Anotar a força de ruptura máxima registrada no ensaio.

A Figura 14 apresenta a forma de aplicação das cargas para os briquetes fabricados.

Figura 14: Formas de aplicação das cargas no teste de Resistência à Compressão Uniaxial



A prensa hidráulica utilizada nos testes era dotada de uma placa fixa (superior) e uma placa móvel (inferior). A pesagem foi feita em uma balança analítica SHIMADZU (modelo BL320H - precisão de 0,02 g a 320g) de 0,005 g de incerteza e as dimensões medidas com um paquímetro digital com 0,005 mm de incerteza, da marca Carbografite,

Após serem devidamente posicionados, iniciou-se o processo de compressão do briquete até que sofresse ruptura. Durante todo o teste o manômetro foi filmado, de forma que a imagem digital captura pudesse ser utilizada posteriormente para se calcular a carga máxima suportada pelo briquete antes da sua ruptura. Para tal foi desenvolvida uma planilha no Excel de modo a aumentar a precisão do valor da carga lido no manômetro instalado na prensa hidráulica. Após a filmagem da ruptura do briquete o vídeo digital era quebrado em imagens digitais do tipo JPG.

A imagem que apresentava o ponto máximo de carga suportada pelo briquete era então trabalhada no software ThumbsPlus 9, que permitia que cada figura fosse inserida em um sistema de coordenadas cartesianas e assim, através de uma interpolação angular, calcular a carga de ruptura do briquete. A forma detalhada do cálculo é detalhada a seguir:

Após a obtenção das coordenadas na imagem da origem do sistema (pino de fixação do ponteiro do manômetro)  $(x_0, y_0)$ , do ponteiro do manômetro  $(x_p, y_p)$ , da marcação de carga inferior superior mais próximas, calcula-se o raio do ponteiro do manômetro (R) através da equação:

$$R = \sqrt{(x_o - x_p)^2 + (y_o - y_p)^2} \quad (1)$$

Calcula-se a distância (Dis) entre a marcação inferior (xi,yi) e a marcação superior (xs,ys) pela equação:

$$D_{is} = \sqrt{(x_i - x_s)^2 + (y_i - y_s)^2} \quad (2)$$

Calcula-se a distância (Dip) entre a marcação inferior e o ponteiro do manômetro pela equação:

$$D_{ip} = \sqrt{(x_i - x_p)^2 + (y_i - y_p)^2} \quad (3)$$

Calcula-se o ângulo ( $\alpha$ ) formado entre o segmento de reta da origem do sistema à marcação inferior e o segmento de reta da origem do sistema ao ponteiro do manômetro pela equação:

$$\alpha = 2\arcsen\left(\frac{D_{ip}}{2R}\right) \quad (4)$$

Calcula-se do ângulo ( $\beta$ ) formado entre o segmento de reta da origem do sistema à marcação inferior e o segmento de reta entre a origem do sistema à marcação superior pela equação:

$$\beta = 2\arcsen\left(\frac{D_{is}}{2R}\right) \quad (5)$$

Por fim, encontra-se por interpolação o valor da carga de ruptura por meio da equação:

$$P = P_i + \alpha(P_s - P_i)/\beta \quad (6)$$

Onde  $P_i$  é o valor da carga em toneladas lido na marcação inferior e  $P_s$  é o valor da carga em toneladas lido na marcação superior. A tensão máxima de compressão  $\sigma$

Compressão (em MPa) suportada pelo corpo de prova é calculada pela Equação (7), onde P é a carga aplicada (em, N), D é o diâmetro do corpo de prova (mm).

$$\sigma_{\text{Compressão}} = \frac{4P}{\pi D^2} \quad (7)$$

### 5.5.3. Teste de Decomposição a Ação da Água

Uma das formas de avaliação da qualidade de briquetes é em relação à ação da água sobre os mesmos. Segundo Carvalho *et al.* (2010), essa informação é de grande importância para casos onde o briquete pode ser estocado em ambientes abertos, sendo uma forma de medir o ganho de água absorvida pelo briquete através de imersão do mesmo em água.

Segundo Cunha (2006), o teste de absorção de água consiste em imergir os briquetes em um recipiente com água por 24 horas, sendo medida a massa ao fim do teste, permitindo assim o cálculo da porcentagem de água absorvida pelo mesmo.

O procedimento consistiu na imersão total dos briquetes em um reservatório com água por um tempo assistido até que o material se desfizesse e se mantivesse imóvel, uma vez que não se pôde pré-determinar o tempo para seu desmanche, pois suas características não eram conhecidas quando submetido a este teste. A variação da massa foi analisada a partir de fotografias realizadas enquanto o teste era realizado e o tempo cronometrado.

### 5.6. Preparo dos aglomerantes orgânicos utilizados na briquetagem dos finos de calcário – Melaço de Soja e Melado de Cana-de-açúcar

Foram utilizados para os dois aglomerantes as dosagens de 2,5; 5; 7,5 e 8,5% em peso. Para que houvesse melhor trabalhabilidade e homogeneidade dos aglomerantes, foram adicionados 5% de água em peso de calcário em cada porcentagem utilizada, dessa forma o aglomerante entrava em contato com o calcário com mais facilidade melhorando seu processo de homogeneização. Inicialmente o valor limite testado foi 10%, porém com a pressão aplicada houve extrusão do material perdendo massa no experimento, como apresenta a Figura 15 a seguir.

Figura 15: Moldes da briquetadeira apresentando extrusão do material com 10% de aglomerante em sua composição.



Primeiramente o melaço foi diluído em 5% de água em peso de calcário para melhor trabalhabilidade. Depois de homogeneizada, a solução de melaço diluído era incorporada aos 15 g de calcário. Após homogeneização da mistura, os moldes da briquetadeira foram preenchidos com a massa resultante e aplicada compressão uniaxial por meio de uma prensa hidráulica manual, de modo a promover a aglomeração do material. O experimento foi conduzido nas mesmas condições para todos os briquetes.

### 5.7. Análise estatística dos resultados de *Shatter Test* - ANOVA

Com intuito de analisar a resistência dos briquetes nos testes de resistência ao impacto considerando as interações entre os fatores: tipo de aglomerante, número de quedas e dosagem de aglomerante, os resultados foram submetidos a testes estatísticos, por meio da análise de variância – ANOVA (*Analysis of Variance*). Foi possível testar a igualdade dos resultados de resistência, ao nível de 5% de significância, observando as interações destes fatores a através deste método.

A aplicação deste método teve como objetivo avaliar os resultados de resistência dos briquetes nos ensaios de Resistência ao Impacto - *Shatter Test*, com quatro diferentes níveis do fator dosagem de aglomerante. Assim, foi possível observar se os diferentes níveis dos fatores aglomerantes influenciaram nos resultados de resistência ao impacto do briquete.

Os testes estatísticos foram realizados no *software* Statistica, versão 8.0 e no Microsoft Office Excel, versão 2013. Os testes foram realizados considerando um nível de 95% de confiança. Utilizaram-se os resultados de teste de Resistência ao Impacto dos briquetes nas

concentrações 2,5; 5,0; 7,5 e 10,0% de aglomerantes orgânicos, melado de soja e melado de cana-de-açúcar; e 5; 7,5; 10 e 12,5% de água.

De modo poder analisar os aglomerantes entre si mesmo que não possuíam as mesmas porcentagens mínimas e máximas, as porcentagens foram codificadas a um mesmo nível para que pudessem enfim serem comparadas, como apresenta a Tabela 2.

Tabela 2: Nomenclatura adotada para descrever as dosagens de aglomerantes nas formulações dos briquetes a serem analisados no teste estatístico.

<b>Aglomerantes</b>			
<b>Dosagem</b>	<b>Água (%)</b>	<b>M. Cana (%)</b>	<b>M. Soja (%)</b>
A	0	0	0
B	5	2,5	2,5
C	7,5	5	5
D	10	7,5	7,5
E	12,5	8,5	8,5

Os resultados não foram comparados entre as alturas utilizadas no teste de resistência ao impacto, pois estas não eram um fator de análise que pudesse ser comparado e que resultasse em dados significativos. Dessa forma, os dados foram analisados preferencialmente a partir dos aglomerantes e suas respectivas dosagens.

Após a realização da análise de variância, é necessário usar testes post hoc para identificar quais pares de médias de tratamentos diferem significativamente entre si, haja vista que a ANOVA apenas identifica diferenças significativas, não onde essas diferenças se encontram.

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1. Determinação da massa específica

Para garantir a confiabilidade dos resultados, foram realizados cinco ensaios para controle técnico, dos quais obteve-se a Tabela 2 a seguir.

Tabela 3: Resultados dos ensaios de determinação da massa específica do calcário

Ensaio	m1 (g)	m2 (g)	m3 (g)	m4 (g)	$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )
1	46,828	62,945	157,58	147,17	2,824
2	45,090	57,576	152,07	144,11	2,759
3	40,914	54,340	153,97	145,3	2,822
4	43,593	58,938	163,24	153,56	2,711
5	50,370	65,362	163,49	154,02	2,711

Assim, calculando a média dos valores encontrados, tem-se:

$$\text{Média} = \frac{2,824+2,759+2,822+2,711+2,711}{5} \quad (4)$$

$$\text{Média} = 2,765 \pm 0,05 \text{ g/cm}^3$$

O resultado obtido confirma, portanto, os valores encontrados na literatura - 2,72 a 2,87 g/cm<sup>3</sup> (SAMPAIO e ALMEIDA, 2008), juntamente com o desvio padrão ( $\pm 0,05$ ) encontrado a partir do cálculo das médias dos experimentos.

### 6.2. Análise química do calcário

O tipo de calcário a ser utilizado depende principalmente dos teores de cálcio e magnésio do solo determinados através de sua análise química, e a Tabela 5 apresenta os resultados da análise química da amostra de calcário. O PN obteve valor de 100% e ER obteve 99,6%, dessa forma o seu PRNT foi igual a 99,6%. O calcário foi classificado de acordo com seu conteúdo de MgO e seu poder de neutralização como sendo magnésiano, uma vez que o valor de MgO foi maior que 5%, de acordo com a Tabela 4, e classificado como sendo do Grupo D, já que PRNT foi maior que 90%, como apresenta a Tabela 5.

Tabela 4: Classificação do Calcário

<b>TIPOS DE CALCÁRIO</b>	<b>PERCENTUAIS DO MgO</b>
Calcário Calcítico	MgO menor que 5%
Calcário Magnesiano	MgO maior que 5% e menor que 12%
Calcário Dolomítico	MgO maior que 12%

Tabela 5: Classificação do PRNT (poder de neutralização total)

<b>FAIXA DO CALCÁRIO</b>	<b>PERCENTUAIS</b>
Faixa “A”	45,0 a 60,0%
Faixa “B”	60,1 a 75,0%
Faixa “C”	75,1 a 90,0%
Faixa “D”	Maior 90,0%

Tabela 6: Análise química da amostra de calcário

CaO	CaCO <sub>3</sub>	MgO	MgCO <sub>3</sub>	PN	RE	PRNT
33,6	59,8	11,1	23,3	100,0	99,6	99,6

Fonte: Instituto de Ciências Agrárias – UFU.

Os valores de PN e RE também devem ser utilizados a favor do produtor. Quando o produtor for escolher entre calcários com mesmo PRNT, porém com percentagens de PN e RE diferentes, deve-se optar por aquele que apresentar o maior PN. Isso se justifica pelo fato de que o PN representa a porção do calcário que tem capacidade de reagir no solo, corrigindo sua acidez, ou seja, um produto com PN de 90% possui 10% de ingredientes que não neutralizam a acidez do solo.

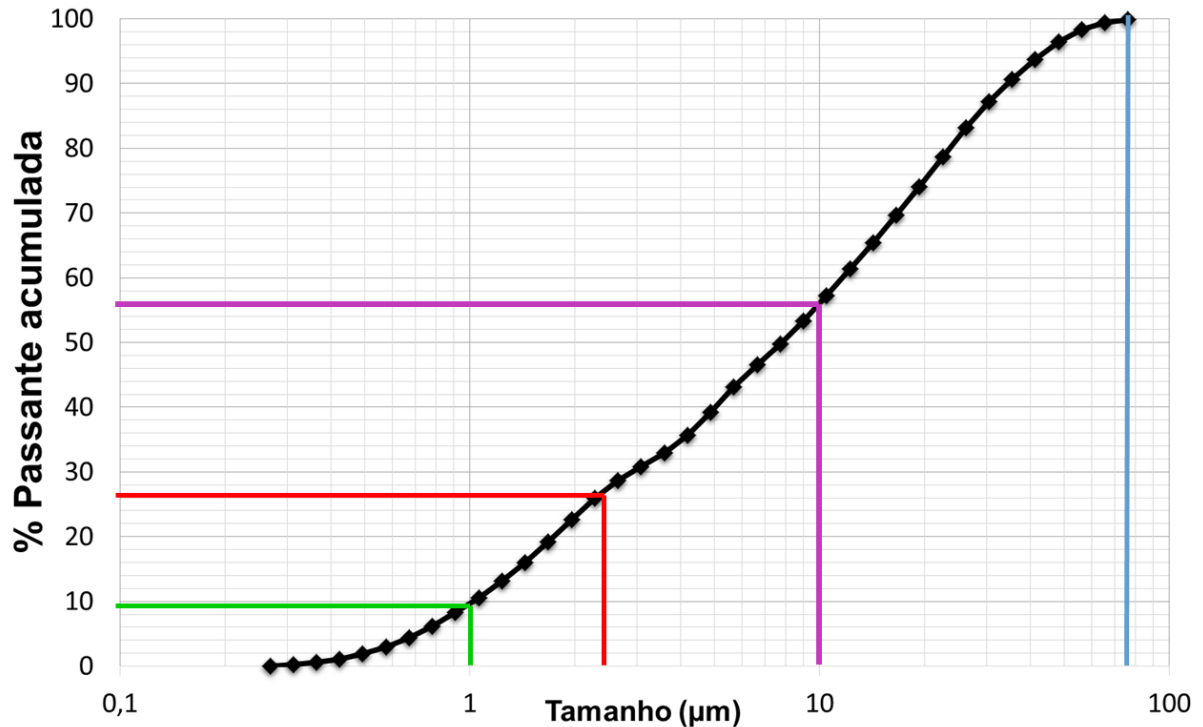
Este calcário poderia ser aplicado na maneira em que se encontra reagindo totalmente com o solo, porém devido sua granulometria, menor que 0,037 mm, mesmo que este entrasse em contato com o solo seu efeito seria imediato, necessitando de mais aplicações em um curto espaço de tempo.

### 6.3. Análise granulométrica do calcário

Segundo Gonçalves Júnior (2014), Materiais Particulados em Suspensão (MPS) são partículas que são suficientemente pequenas e leves para permanecer no ar por um período de tempo significativo. Na prática, estas partículas têm diâmetro inferior a 100 µm. De acordo com a análise realizada no equipamento *Mastersizer 3000*, observa-se que 99,5% dos finos de

calcário analisados tem granulometria menor igual a 75  $\mu\text{m}$ , ou seja, apresenta as dimensões que caracterizam MPS (Figura 16).

Figura 16: Gráfico da análise granulométrica



Com base no tamanho, o MPS pode ser dividido em fração grossa (2,5 – 100  $\mu\text{m}$ ), representada pela linha azul, onde a totalidade do calcário analisado está abaixo de 100  $\mu\text{m}$ . Em fração fina (< 2,5  $\mu\text{m}$ ), que de acordo com as linhas vermelhas quase 30% do calcário está abaixo dessa faixa granulométrica. E a linha verde representa a porção do material com diâmetro inferior a 1  $\mu\text{m}$ , estas partículas são conhecidas por se comportarem como gás na atmosfera e estão sujeitas a movimento browniano (aleatório) com difícil sedimentação.

De acordo com pesquisas realizadas pela Associação Americana do Pulmão, partículas com diâmetros menores que 10  $\mu\text{m}$ , partículas inaláveis, são as mais nocivas para o ser humano, ou seja, mais da metade do calcário está nessa faixa granulométrica, representada pela linha roxa.

No momento de sua aplicação no solo esta se torna uma característica tão importante quanto preocupante, pois quem aplica poderá estar inalando material particulado e conseqüentemente gerando malefícios para sua própria saúde, se não forem tomadas as devidas precauções. O material particulado afeta a saúde humana de várias maneiras, com a irritação dos olhos e das vias respiratórias, a redução da capacidade pulmonar, a redução da

performance física, o agravamento de doenças crônicas do aparelho respiratório, dentre outras.

Na agricultura, durante a aplicação de material particulado deve ser lembrado que com o aumento do grau de finura aumenta também as dificuldades de aplicação em relação aos equipamentos aplicadores, às perdas em consequência do vento, e também o maior contato do corretivo com o operador. As partículas finas, com diâmetro menor que 2  $\mu\text{m}$  podem ser conduzidas mais de 1000 km da sua região de origem (GONÇALVES JÚNIOR, 2014).

Por outro lado, a diminuição do diâmetro das partículas e consequente acréscimo da superfície de exposição traduzem-se num aumento de solubilidade. Para um mesmo grau de finura, a rapidez de reação varia com o tipo de calcário, o calcário calcítico é indicado para a correção do solo com alta deficiência de cálcio, é utilizado também em granulometria maior, pois assim levará mais tempo para se solubilizar e fará uma correção prolongada da acidez do solo. O calcário dolomítico é indicado para a correção de solo com deficiência de Óxido de Cálcio (CaO) e Óxido de Magnésio (MgO), é utilizado em sua granulometria mais fina para rápida correção do pH do solo. E por fim, o calcário magnesiano é ideal para solos que apresentam problemas de acidez e tem relação de cálcio e magnésio equilibrada e é utilizado quando se desejar manter a relação Ca/Mg entre 3:1 a 4:1.

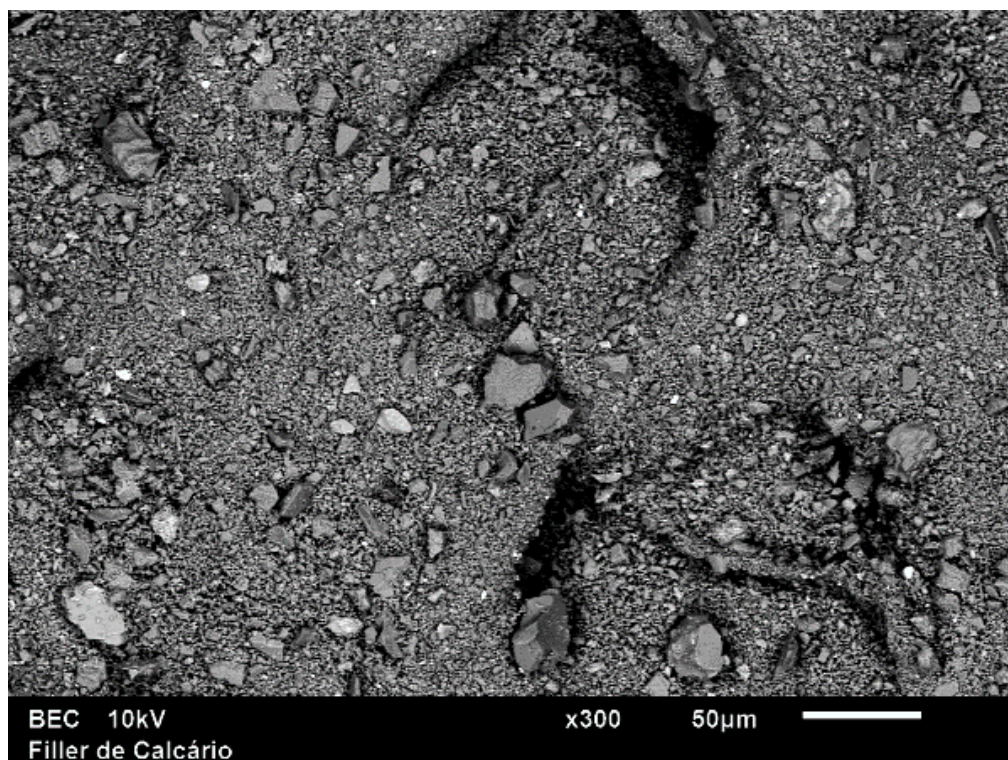
## **6.4. Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)**

### **6.4.1. Finos de Calcário**

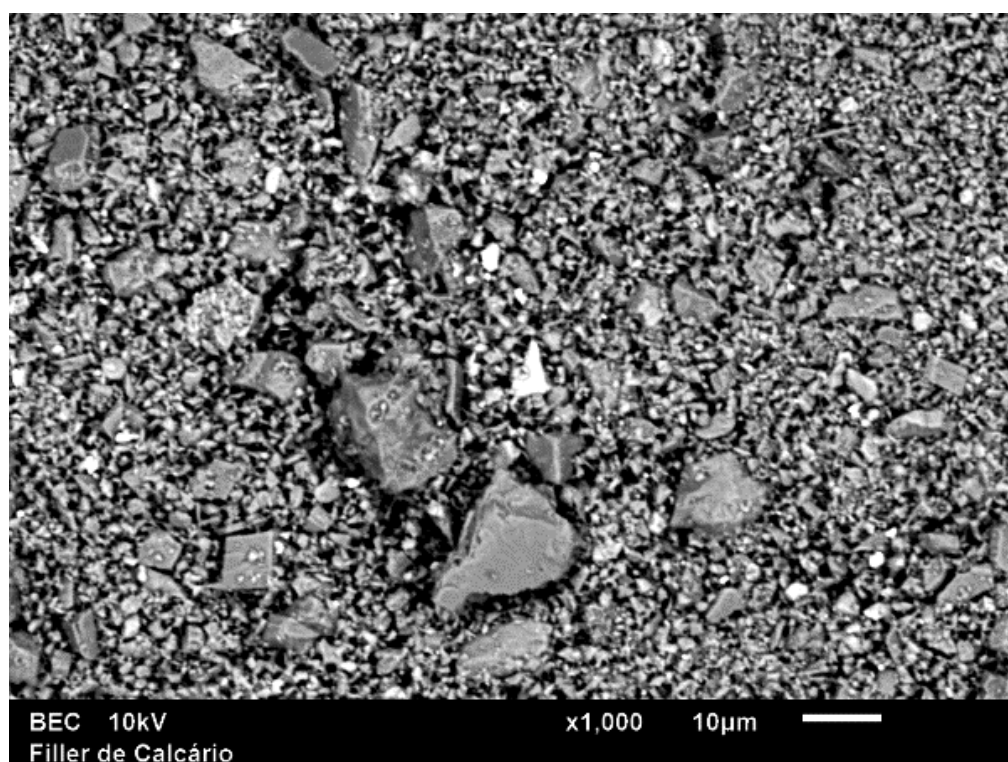
A Figura 17 mostra os resultados de MEV das amostras de finos de calcário. É possível ver que a morfologia das partículas não são semelhantes, o que justifica o resultado obtido por análise granulométrica, o que mostrou que 10% do material é inferior a 1  $\mu\text{m}$ , e as partículas não eram claras porque a distância mais curta, sem perder a qualidade do imagens foi de 10  $\mu\text{m}$ .

As partículas maiores têm tamanho de 25 micrometros e menores do que cerca de 6 micrometros. Possuem forma anédrica, angular/subangular e baixo grau de esfericidade. Alguns grãos são suaves, com bordas retas bem marcadas, outros tiveram suas arestas suavizadas quimicamente (dissolução). Pode notar-se evidência de clivagem romboédrica em alguns grãos.

Figura 17: Resultados de MEV do calcário em pó com magnificações: (a) 300x e (b) 1000x



(a)



(b)

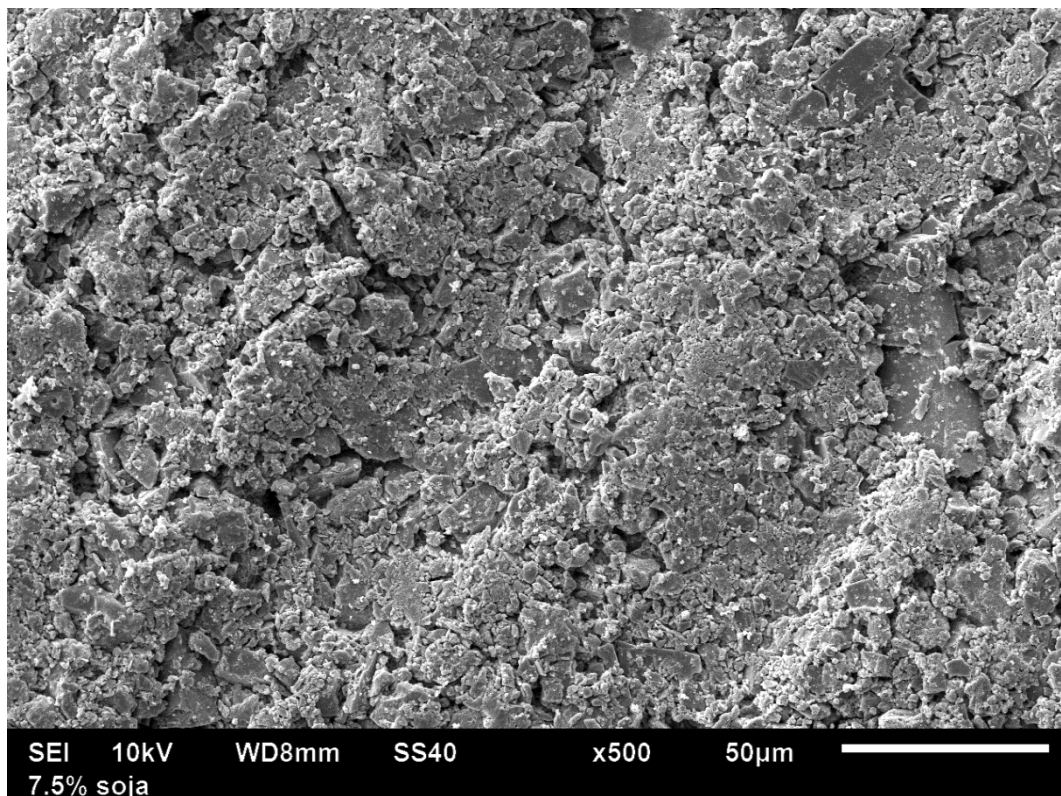
Durante o estágio inicial de compressão há o rearranjo das partículas, de uma forma solta para um estágio empacotado. Conforme o aumento da pressão, a área de

contato entre os grãos aumenta e as partículas são submetidas a deformações plásticas. Dependendo do material, a partícula pode deformar plasticamente e fraturar. A resistência do briquete está relacionada com a efetividade de contato entre as partículas, e a densidade do briquete, com a pressão de compactação (POQUILLON *et al.*, 2002).

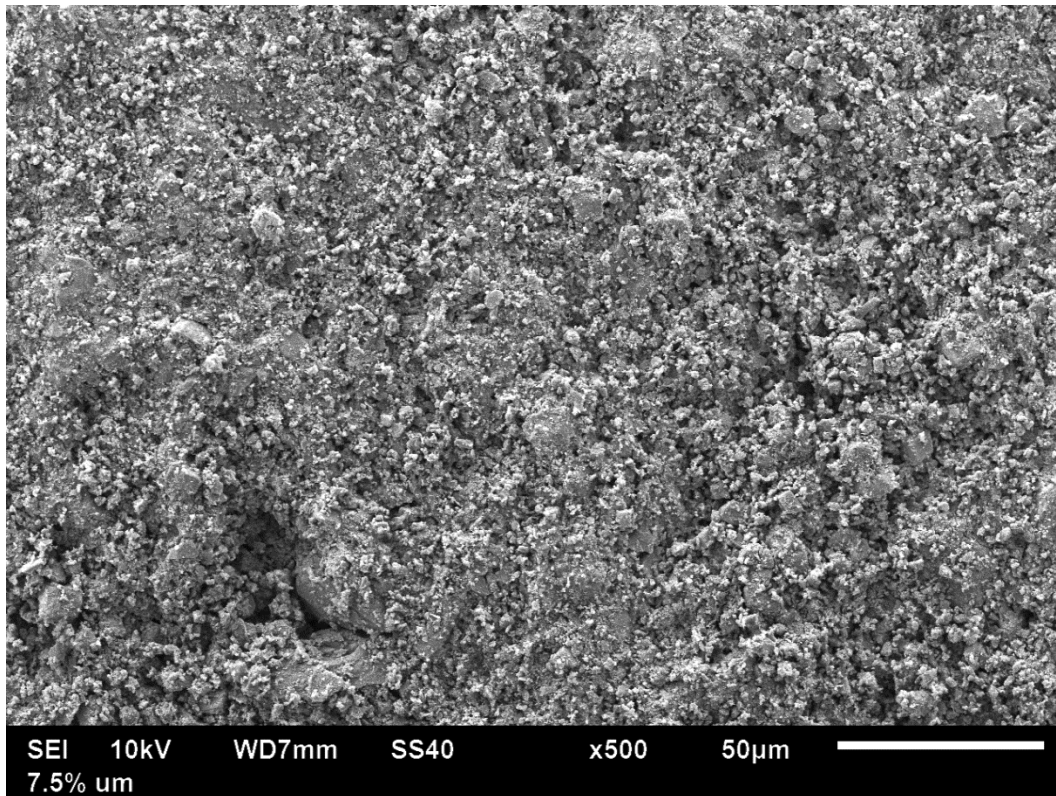
#### 6.4.2. Briquetes de Finos de Calcário

A Figura 18 apresenta a comparação entre briquetes com 7,5% de melaço de soja e 7,5% de água com aproximação de 500x. E a Figura 19 nas mesmas condições, porém com aproximação de 1000x e 5000x.

Figura 18: Comparação entre as imagens de MEV realizadas entre briquetes com: (a) 7,5% de melaço de soja e (b) 7,5% de umidade, a mesma magnificação (500x).



(a)



(b)

Segundo Poquillon (2002), três estágios são identificados durante a compactação de pós em uma máquina de briquetagem: comportamento totalmente elástico; partícula deslizante e deformação irreversível da partícula. Os mecanismos para o desenvolvimento da resistência durante a compactação são gerados por dois fenômenos:

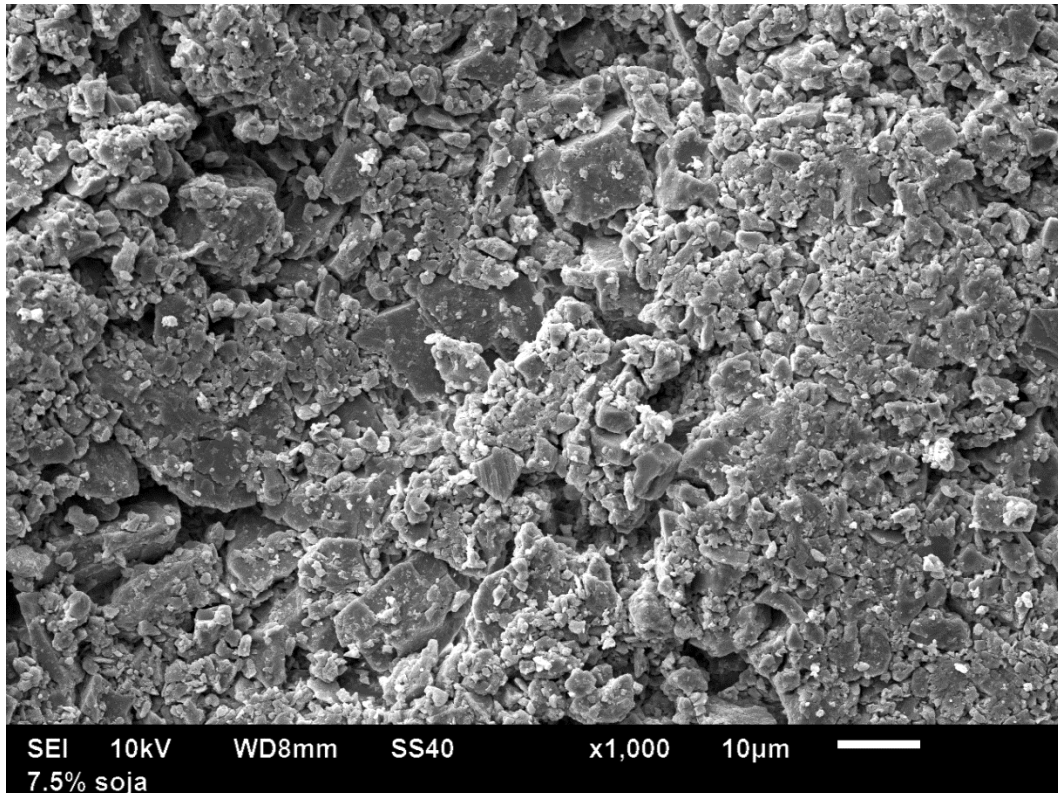
- (i) Deformação plástica;
- (ii) Deslizamento da partícula e travamento.

Durante o estágio inicial de compressão há o rearranjo das partículas, de uma forma solta para um estágio empacotado. Conforme o aumento da pressão, a área de contato entre os grãos aumenta e as partículas são submetidas a deformações plásticas. Dependendo do material, a partícula pode deformar plasticamente e fraturar.

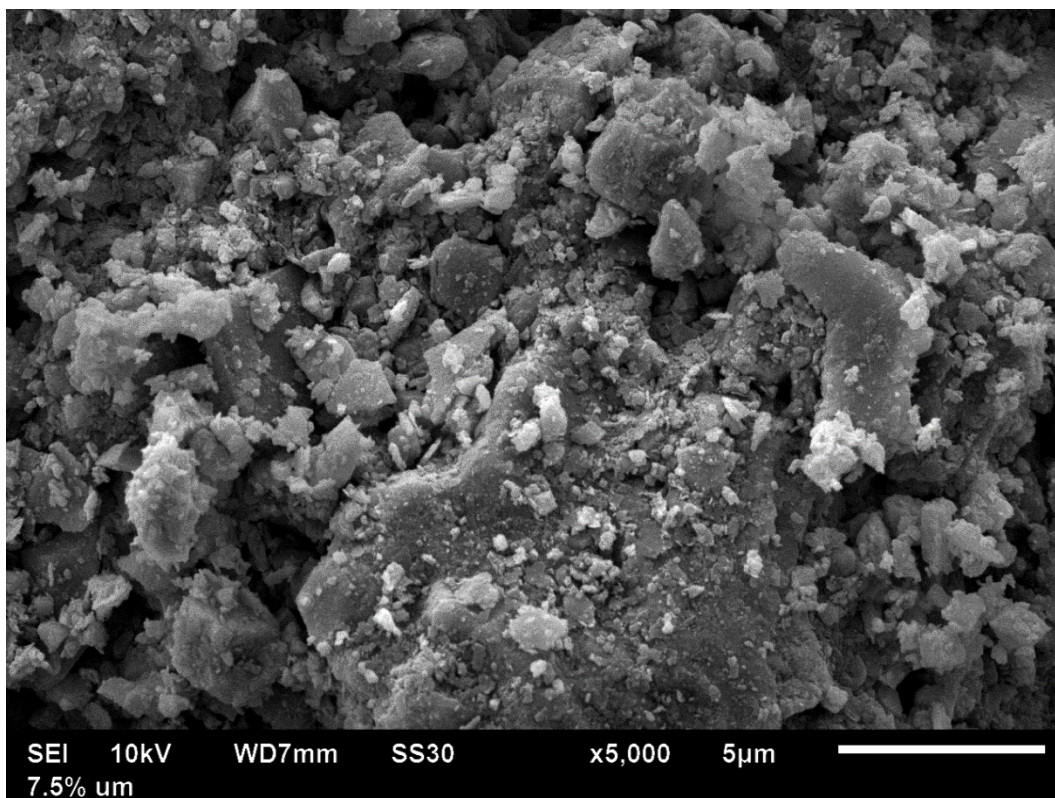
Com a análise das imagens realizadas pelo MEV dos briquetes pode-se notar a diferença do rearranjo das partículas quando há variação de aglomerante. Com melão de soja houve maior união entre as partículas e aderência entre elas, com partículas uniformemente distribuídas, aumentando o intertravamento. Durante o aumento da

densidade pela elevação da porcentagem de aglomerante, os espaços vazios entre as partículas diminuem, diminuindo a porosidade e consequentemente aumentando o intertravamento. Devido essa propriedade de rearranjo das partículas pode-se justificar o aumento da resistência no teste de impacto.

Figura 19: Comparação entre as imagens de MEV realizadas entre briquetes com: (a) 7,5% de melaço de soja (1000x) e (b) 7,5% de umidade (5000x).



(a)

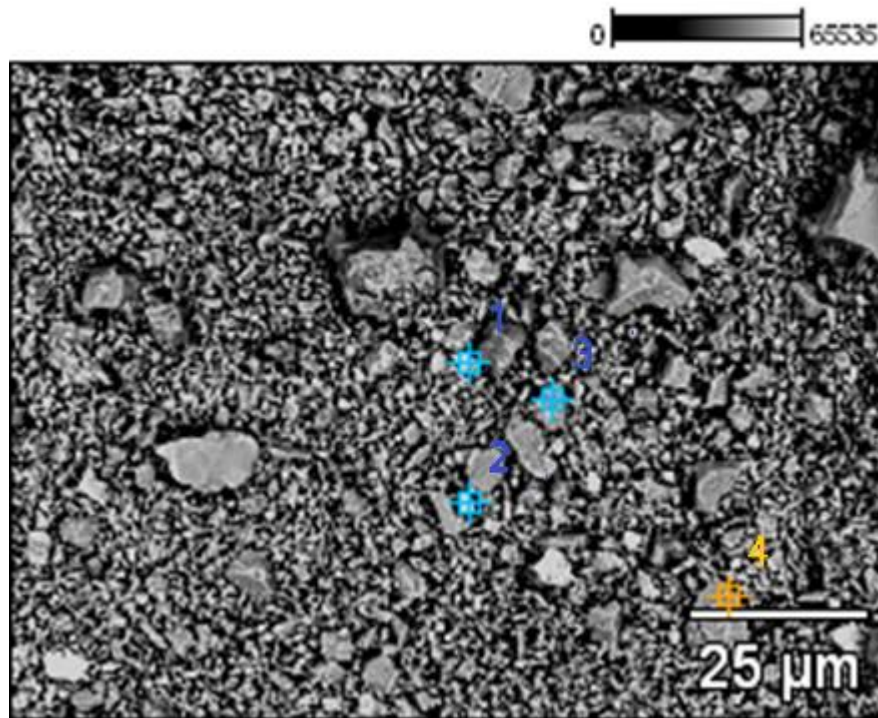


(b)

#### 6.4.3. Energia Dispersiva de Raios-X (EDS)

A Figura 20 apresenta os principais elementos detectados pelas análises por energia dispersiva de raios-X (EDS), os quais foram C, O, Mg, Si e Ca para ambos os pontos, comprovando dessa forma que as amostras de calcário são, predominantemente, compostas por carbonato de cálcio. Os minerais que aparecem na análise, tais como: Al, Fe, K e S podem ser considerados contaminações por meio de máquinas no processamento mineral, até mesmo na moagem, ou partículas pequenas que foram capazes de serem observadas apenas por microscopia de varredura.

Figura 20: Análise química através de Energia Dispersiva de Raios-X (EDS)



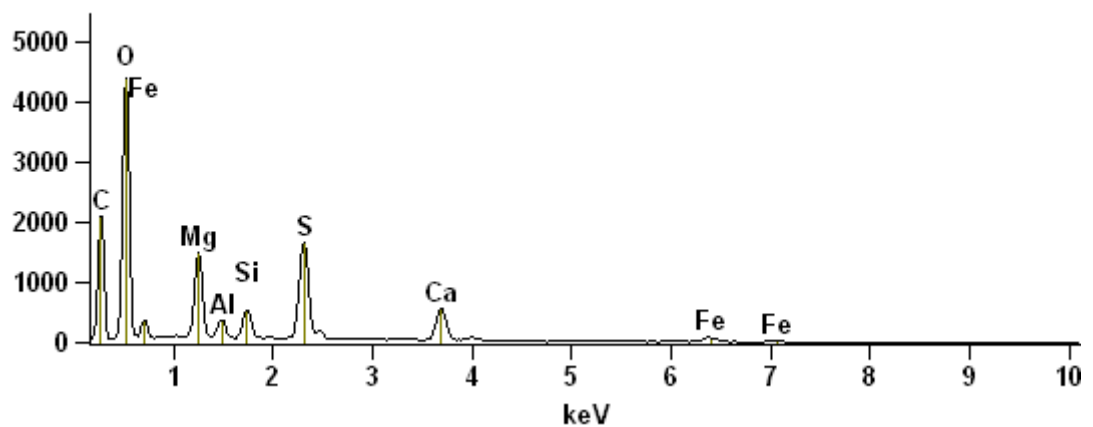
Amostra: Finos de Calcário  
Accelerating Voltage: 10.0 kV  
Magnification: 1000

(a)

Ponto 1

Full scale counts: 4374

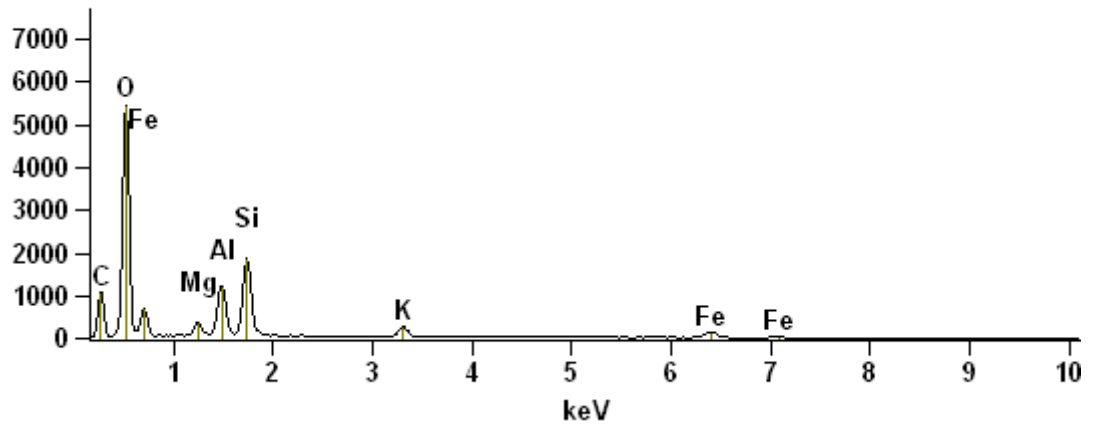
8(6)\_pt1



Ponto 2

Full scale counts: 5424

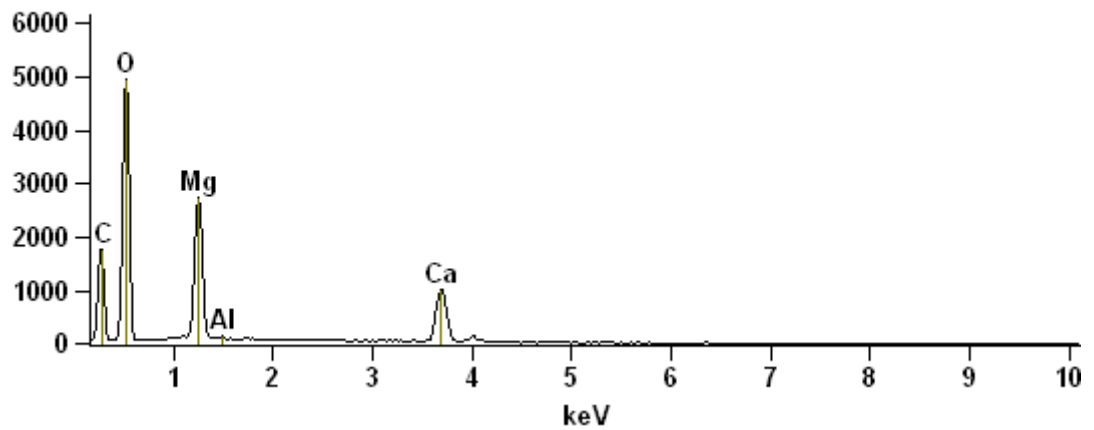
8(6)\_pt2



Ponto 3

Full scale counts: 4938

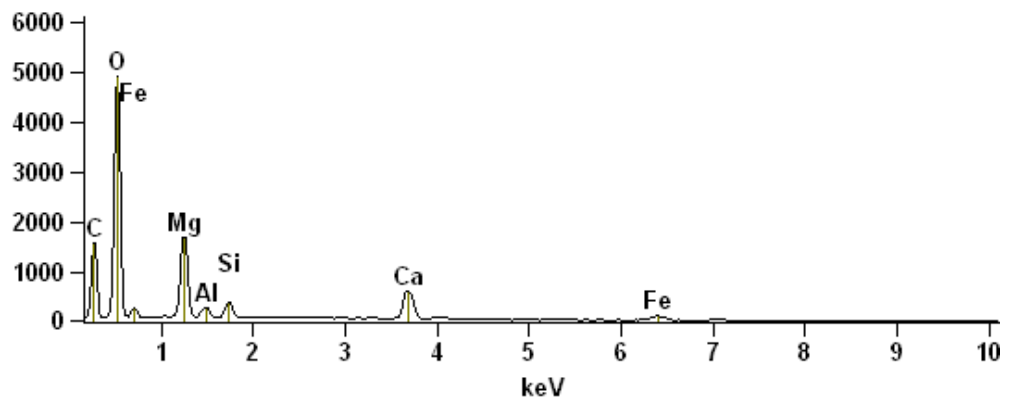
8(6)\_pt3



Ponto 4

Full scale counts: 4911

8(6)\_pt4



(b)

Korndörfer (2001) afirma que aplicação de calcário no solo aumenta a disponibilidade de N, P, K, Mg, S, Mo e etc. A partir dessa afirmação, pode-se observar a partir da análise de EDS a presença da maioria desses elementos na amostra, por se tratar de micronutrientes estes foram capazes de serem observados apenas através desta análise.

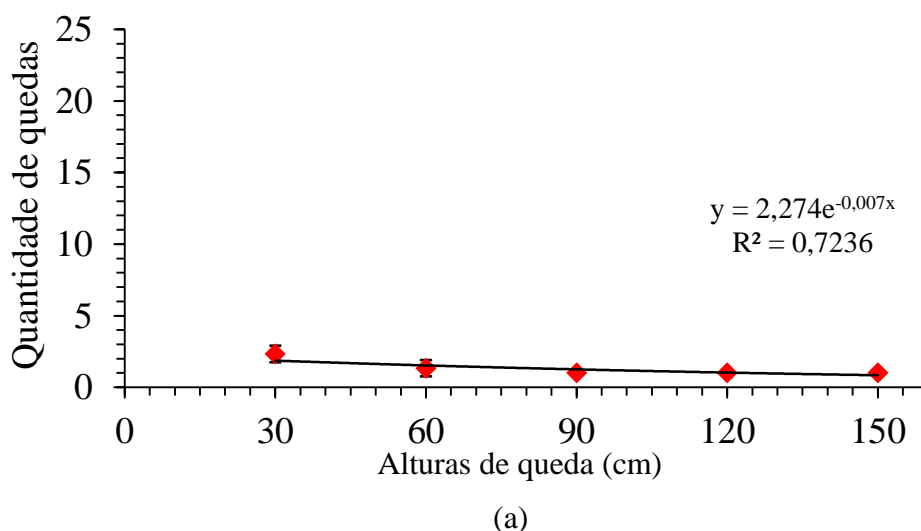
## 6.5 Caracterização física dos briquetes utilizando Água como aglomerante

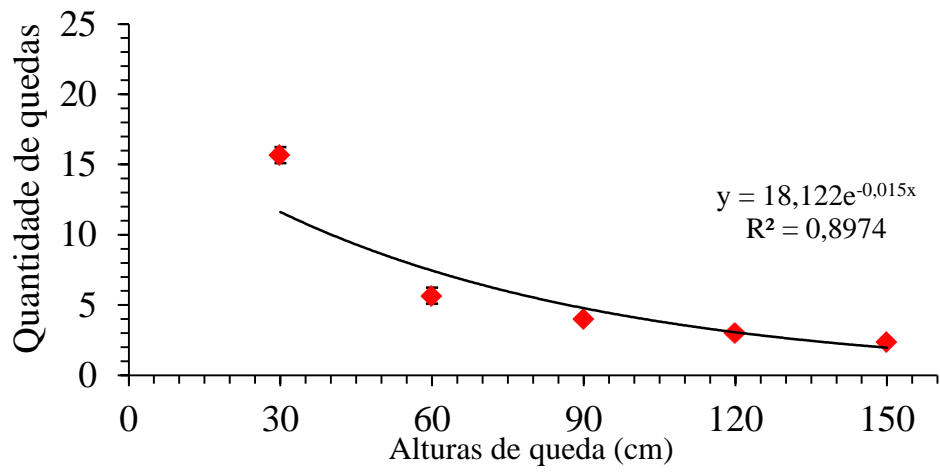
### 6.5.1. Teste de Resistência ao Impacto (*Shatter Test*)

Observando os gráficos separadamente, de acordo com a Figura 21, percebe-se que há uma redução no número de quedas quando se eleva as alturas nos testes. Sem a adição de aglomerantes Figura 21 (a) o briquete se mostrou frágil, suportando menos que 5 quedas a 30 cm e reduzindo sua resistência mecânica nas demais alturas. De acordo com a metodologia de Luz *et al.*, (2010), a qual cita que para briquetes sem cura, considera-se 3 como um número razoável de quedas, o briquete de finos de calcário ainda está dentro das especificações dos padrões de resistência ao impacto.

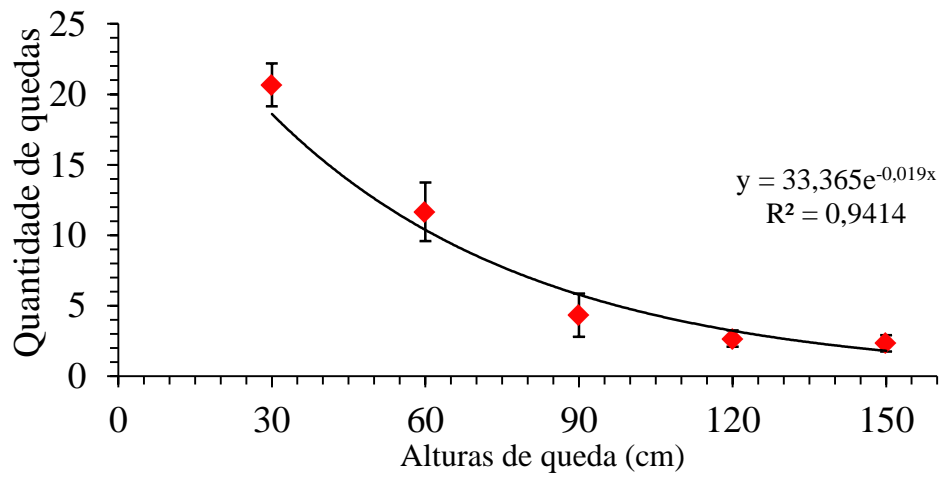
Os briquetes com adição de água como aglomerante Figura 21 (b), obtiveram resistência mecânica maior, mais de 10 quedas nas primeiras duas alturas, ultrapassando o limite razoável sugerido por Luz *et al.*, (2010).

Figura 21: Quantidade de quedas em relação às alturas: (a) 0; (b) 5; (c) 7,5; (d) 10; (e) 12,5% de umidade.

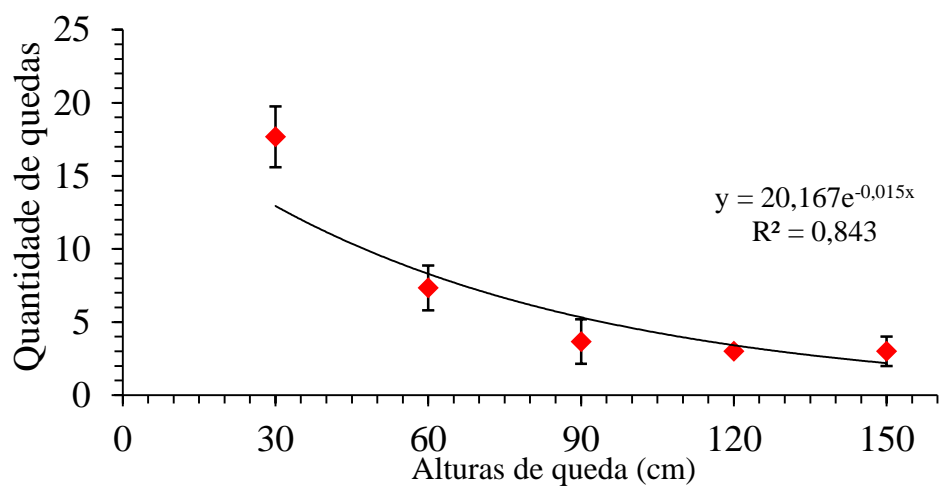




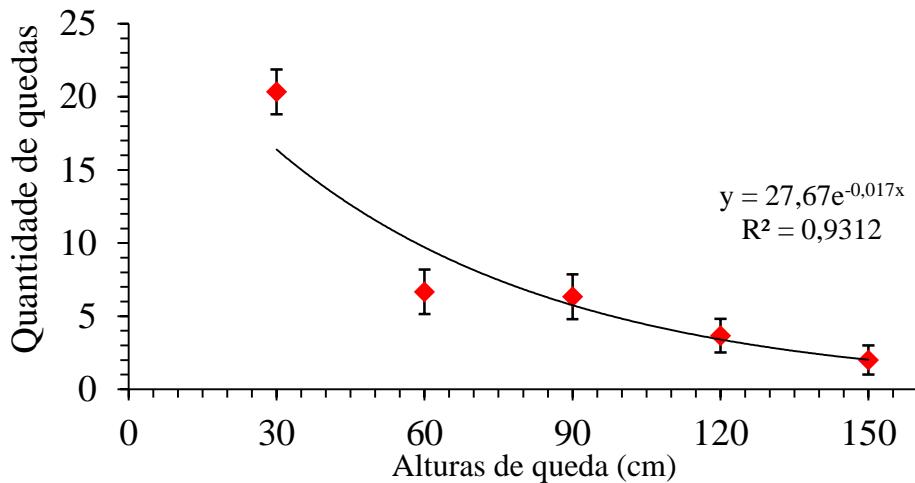
(b)



(c)



(d)



(e)

O maior desempenho dos briquetes, os quais possuíam porcentagem de aglomerante, pode ser explicado pela ligação entre partícula e aglomerante (água), a qual eleva a resistência ao impacto tornando o material mais resistente. De acordo com Oliveira (2003), a umidade provê a força coesiva necessária para a aderência das partículas a serem aglomeradas. Esta força também depende da capacidade de adsorção da água pelas partículas, aumentando assim a resistência mecânica.

Além da variação da umidade outra variável poder ter afetado a resistência dos briquetes. A pressão exercida para produção dos briquetes tem influência tanto na resistência mecânica quanto na densidade e porosidade. O aglomerante utilizado adere química e fisicamente nas superfícies dos sólidos formando pontes entre as partículas, aumentando a resistência mecânica dos aglomerados, melhorando a qualidade física dos briquetes.

Com a união de todos os dados em um único gráfico, na Figura 22, pode-se notar que 0% de umidade o briquete é realmente muito frágil, não suportando mais de 3 quedas na menor altura realizada. Comparando-se os demais, 7,5% e 12,5% obtiveram maiores resistências a 30 cm de altura. E na maior altura do teste, 150 cm, todos os pontos tenderam a se unir verificando assim a fragilidade de todos os briquetes a essa altura. O desvio padrão nesta figura foi omitido devido a sobreposição dos pontos, que dessa forma dificultaria a visualização dos mesmos.

A Figura 23 apresenta os valores de aumento percentual nos números de quedas relacionando com as porcentagens de aglomerantes (água) utilizados nos testes. O maior aumento foi de aproximadamente 800% no número de quedas quando a água foi adicionada ao processo.

Figura 22: Representação gráfica dos dados de todas as porcentagens de aglomerante (água) nos testes de queda

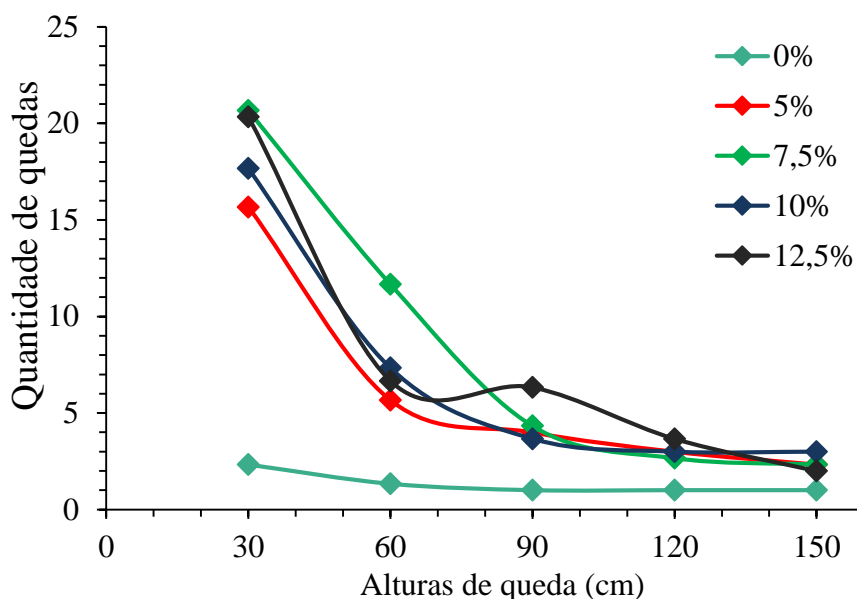
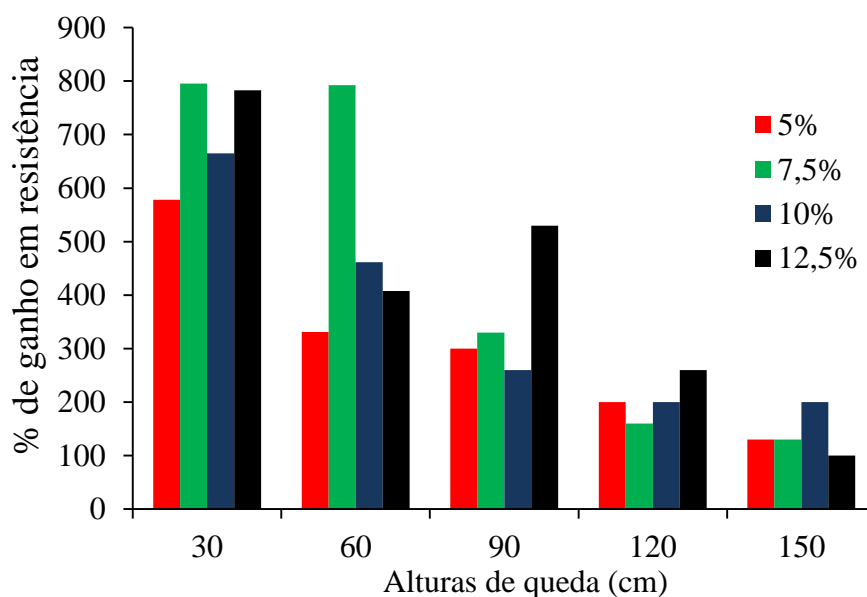
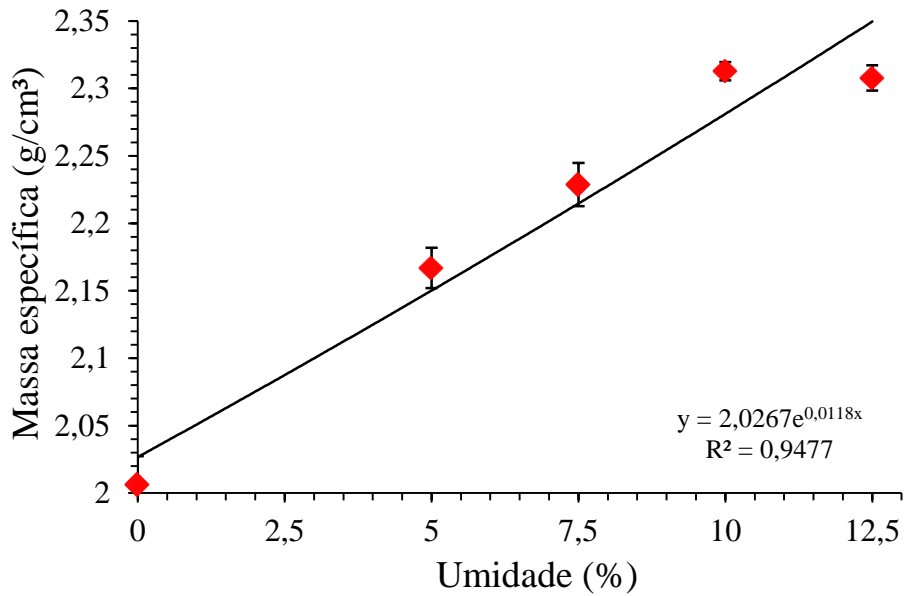


Figura 23: Representação gráfica da porcentagem de ganho em resistência mecânica a partir da adição do agente aglomerante (água)



A Figura 24 apresenta a massa específica aparente justificada pela redução da porosidade através da briquetagem, onde ocorreu a expulsão do ar por meio da aplicação de pressão. Dessa forma a água aderiu aos grãos de calcário através da capilaridade diminuindo a quantidade de poros vazios e aumentando a resistência mecânica do briquete. Com a ação da água entre os poros por meio da capilaridade o briquete se torna mais denso, comprovando a maior resistência (OLIVEIRA, 2003).





Figura 24: Variação da massa específica dos briquetes em relação às umidades testadas


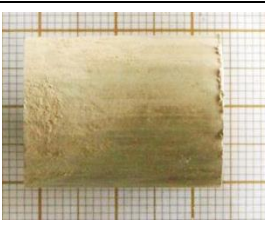
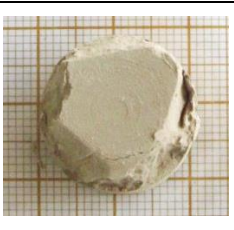
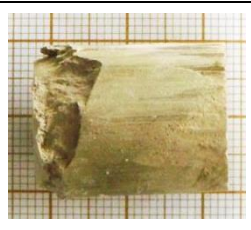
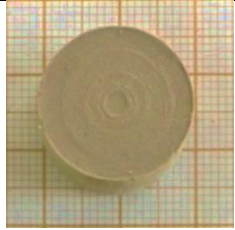
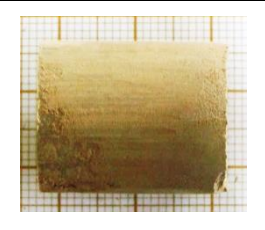



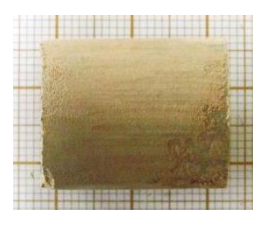



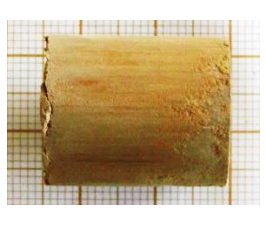

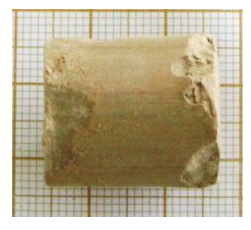


A Tabela 7 apresenta vistas dos briquetes a partir dos finos de calcário com forma, tamanho e parâmetros mecânicos adquiridos após o processo de briquetagem antes e depois da submissão aos testes de queda. As Figuras apresentam briquetes submetidos a testes de quedas a 30 cm de altura, até perderem 5% da massa. Pode-se observar também a variação na tonalidade das cores dos briquetes, quanto maior a umidade mais escuro é o briquete.

As imagens escolhidas para representar o teste de resistência ao impacto foram de briquetes submetidos a queda a 30 cm de altura, pois é a partir desta altura que é realizada a aplicação do calcário convencional no solo.

Tabela 7: Vistas superiores e laterais dos briquetes antes e depois das realizações dos testes de queda a 30 cm de altura com briquetes utilizando água como aglomerante.

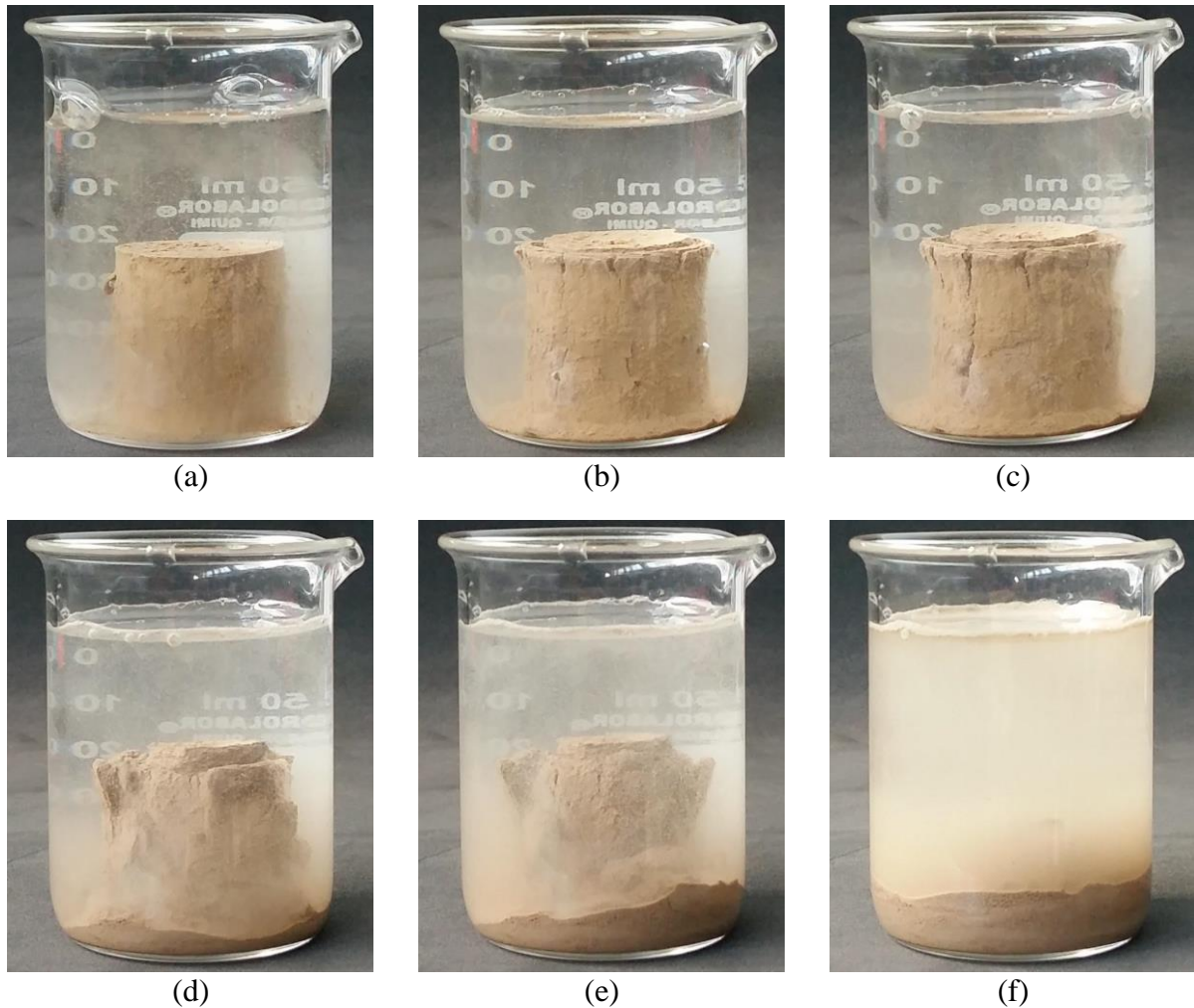
H <sub>2</sub> O %	Antes do teste de queda		Depois do teste de queda	
	Vista Superior	Vista Lateral	Vista Superior	Vista Lateral
0				

5				
7,5				
10				
12,5				

### 6.5.2. Teste de Decomposição a Ação da Água

Analisando a Figura 25 e com os dados obtidos na realização do teste de resistência a ação da água pode-se concluir que os briquetes não obtiveram resistência quando submergidos. Apresentaram deterioração acelerada, se desfazendo totalmente em um tempo médio aproximado de 4,5 minutos até se manterem imóveis dentro do recipiente.

Figura 25: Tempo de imersão do briquete em água: (a) 4 segundos; (b) 50 segundos; (c) 1 minuto; (d) 1 minuto e 50 segundos; (e) 2 minutos; (f) 4 minutos e 30 segundos.



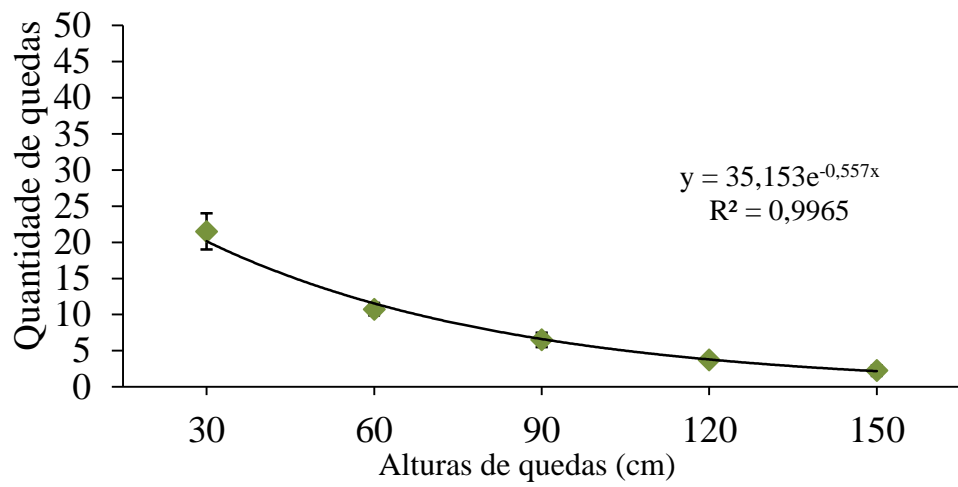
A principal finalidade visada por este trabalho é a destinação deste briquete para correção da acidez do solo. Esse tempo de deterioração é relativamente aceito. A partir de uma hipótese, na qual ocorra uma chuva ou uma irrigação no tempo maior que 5 minutos esse briquete já não seria mais visível, ocorrendo seu desmanche e sendo incorporado por meio de percolação das partículas no solo.

## 6.6. Caracterização física dos briquetes utilizando Melão de Soja como aglomerante

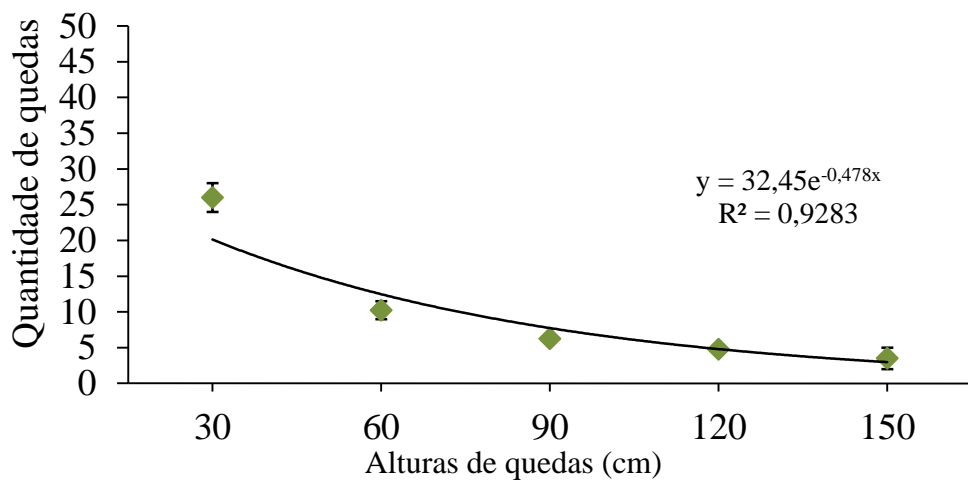
### 6.6.1. Teste de Resistência ao Impacto (*Shatter Test*)

A Figura 26 apresenta dos gráficos individuais para briquetes produzidos com melão de soja e submetidos a teste de resistência ao impacto. Para a construção dos gráficos foram utilizadas as médias obtidas através dos testes realizados em triplicata para cada altura no experimento e calculado o desvio padrão por meio destes dados.

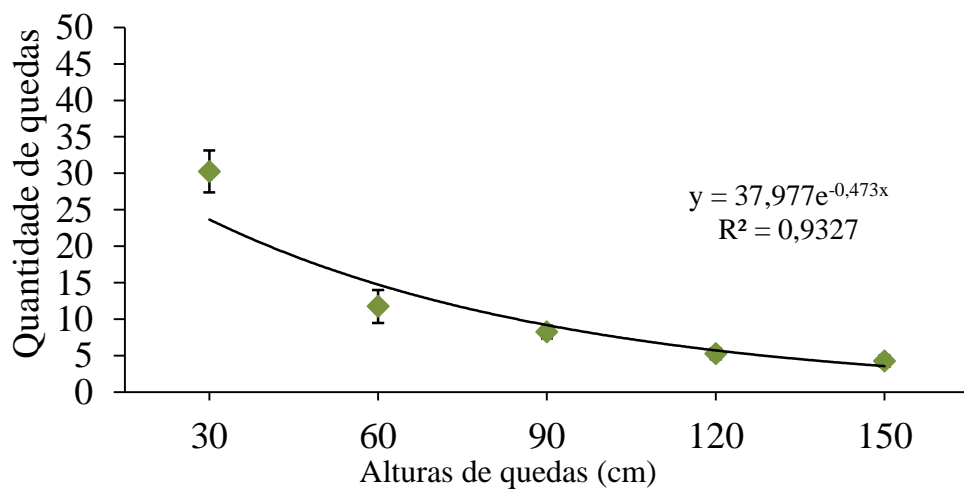
Figura 26: Quantidade de quedas em relação às alturas: (a) 2,5; (b) 5; (c) 7,5; (d) 8,5% de melão de soja.



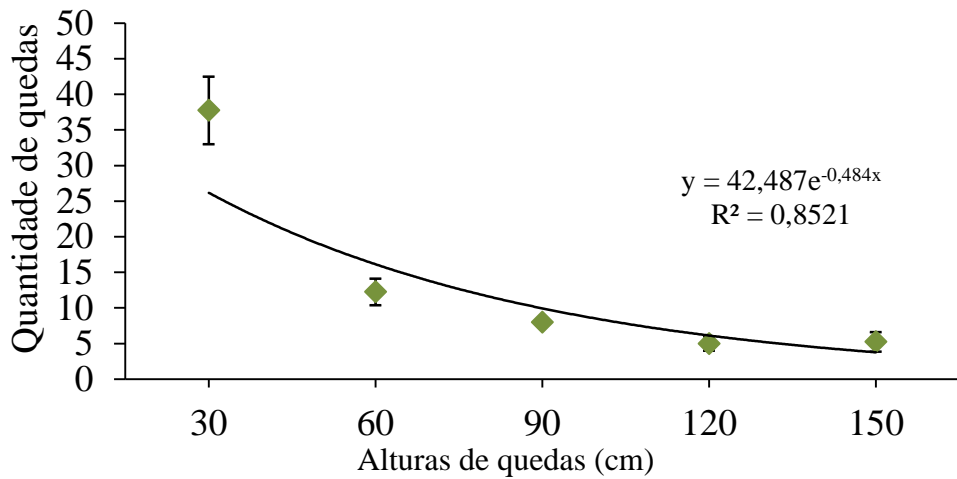
(a)



(b)



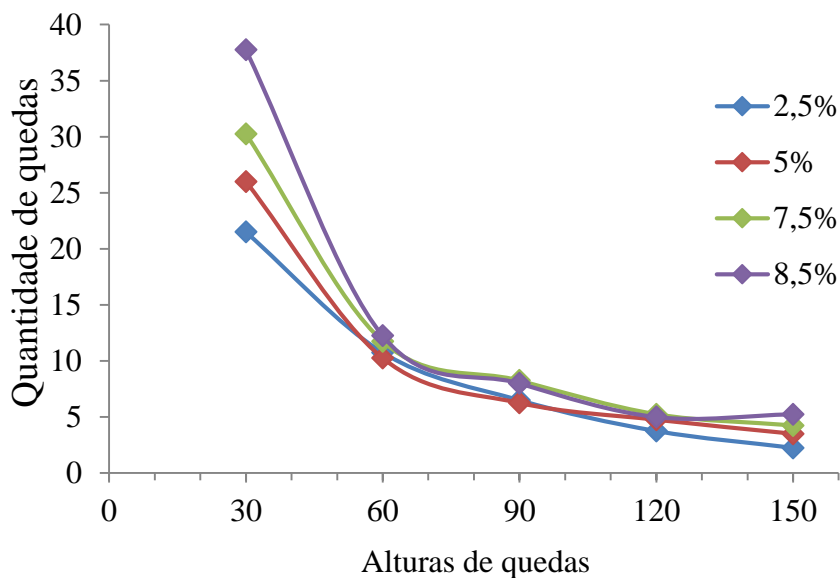
(c)



(d)

Com a união de todos os resultados, na Figura 27, pode-se notar uma tendência dos pontos se aproximarem nas alturas 90, 120, 150 cm, mantendo números praticamente iguais e não diferenciando entre si. A maior porcentagem do aglomerante orgânico chegou a uma média de aproximadamente 40 quedas. Ainda de acordo Luz *et al.*, (2010), sua metodologia considera 3 quedas como um número razoável. Sendo assim o valor alcançado com o melaço de soja é dez vezes superior que o indicado pelo autor em todas as alturas. O desvio padrão nesta figura foi omitido devido a sobreposição dos pontos, a qual dificultaria a visualização.

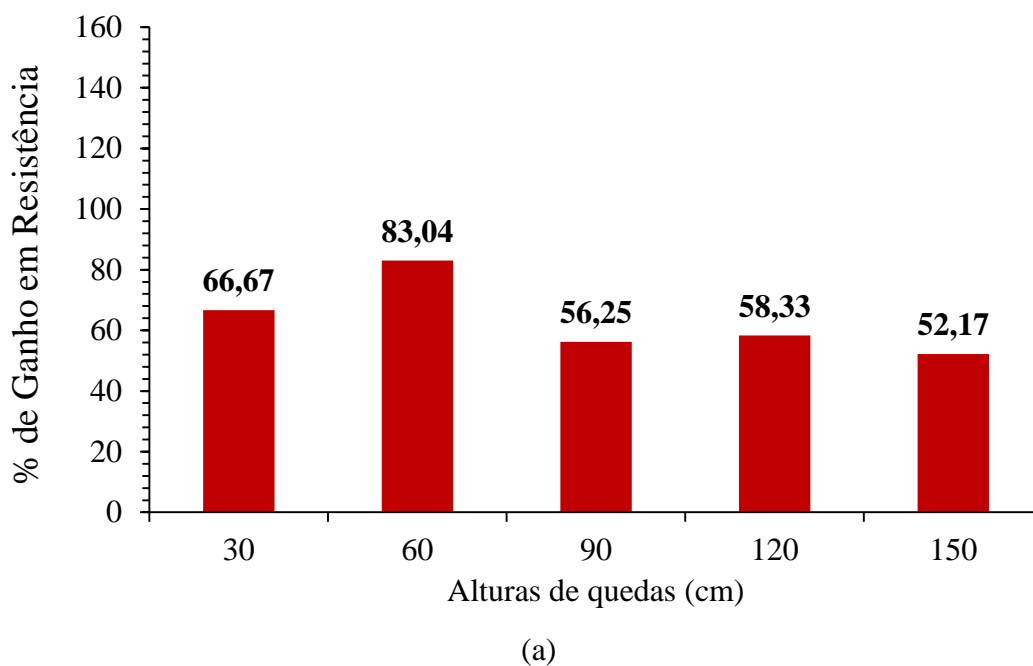
Figura 27: Representação gráfica dos dados de todas as porcentagens de aglomerante nos testes de queda

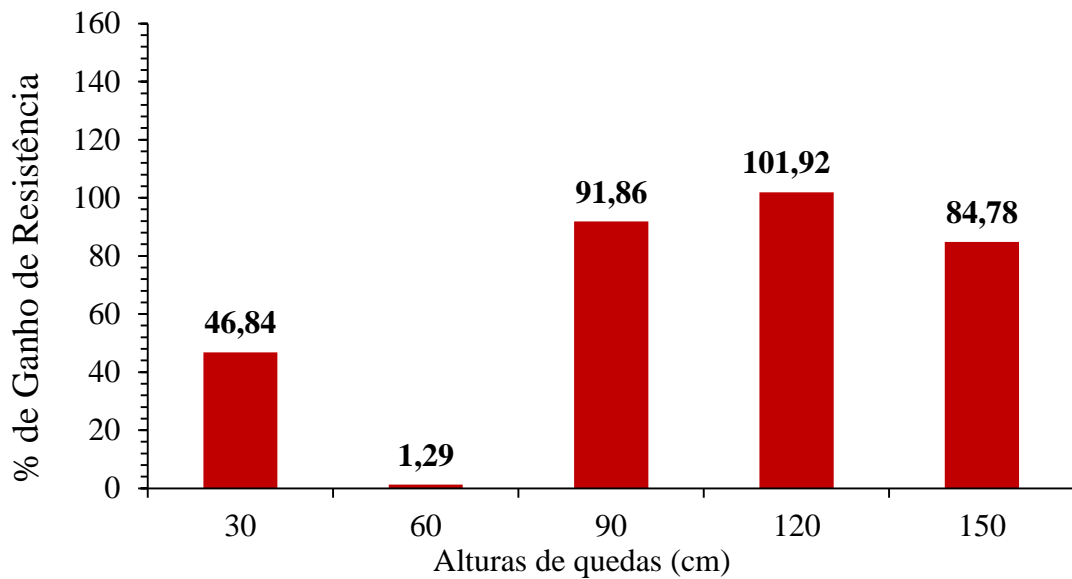


Os testes realizados utilizando 5% de melaço de soja apresentaram um acréscimo máximo de 83,04% na altura de 60 cm no número de quedas realizadas a partir do *Shatter Test* comparado aos testes utilizando água como aglomerante. A análise foi realizada comparando os resultados de briquetes com 5% de água e 5% de melaço de soja, a Figura 28 (a) seguir apresenta os seguintes resultados. E a Figura 28 (b) apresenta o aumento de quedas dos briquetes com 7,5% de melaço de soja em relação a mesma porcentagem com água.

A Figura 28 (b) apresentou um valor bem inferior comparados aos demais, porém mesmo apresentando um acréscimo este valor está fora do comum. O acréscimo de apenas 1,29% do número de quedas do melaço de soja em relação à água pode estar associado a possíveis erros no momento da fabricação dos briquetes ou no momento da realização do teste de resistência ao impacto.

Figura 28: Ganho percentual em resistência ao impacto dos briquetes com: (a) 5% e (b) 7,5% de melaço de soja em relação aos briquetes produzidos com água nas mesmas porcentagens.

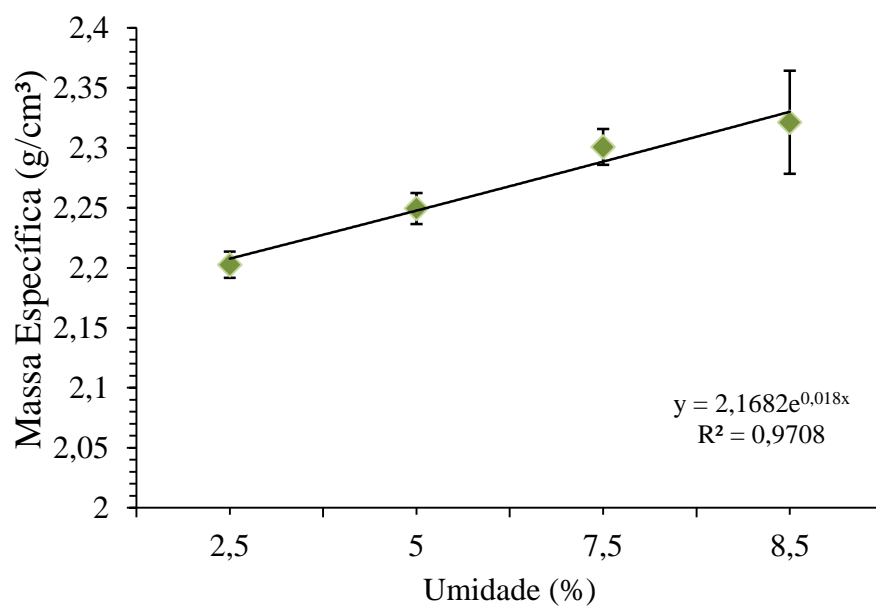




(b)

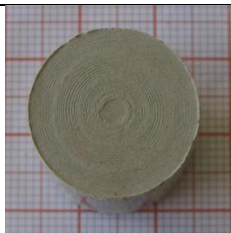
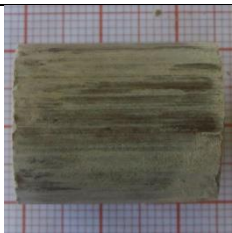



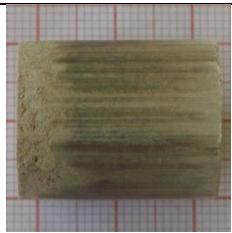

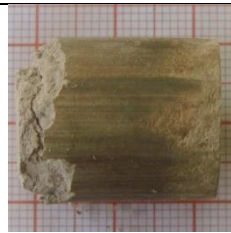
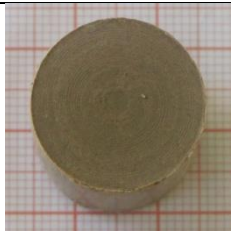
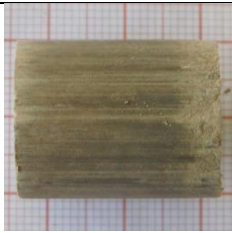

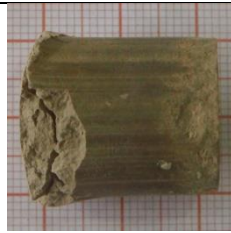
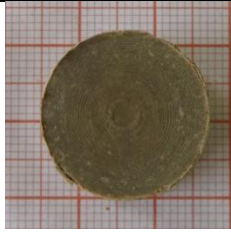
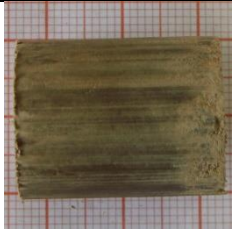

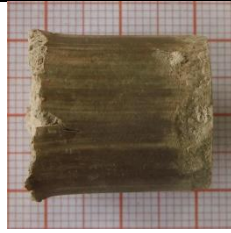
A Figura 29 apresenta a massa específica aparente dos briquetes produzidos utilizando melação de soja. Resultados foram superiores a massa específica dos briquetes utilizando água. Esse fato pode ser justificado pelo melação ser um aglomerante mais denso, dessa forma o melação aderiu melhor as partículas através da capilaridade diminuindo a quantidade de poros vazios e aumentando a resistência mecânica do briquete, conseqüentemente elevando sua densidade, justificando sua maior resistência.

Figura 29: Variação da massa específica dos briquetes em relação à porcentagem de aglomerante orgânico – melação de soja



A Tabela 8 apresenta vistas dos briquetes com melaço de soja antes e depois do teste de resistência ao impacto. As imagens diferenciam muito entre si, não podendo distinguir qual seria o briquete produzido utilizando aglomerante orgânico ou água. Não há muita diferença entre estes dados e os dados dos briquetes utilizando água, porém estes foram submetidos a mais quedas, ultrapassando os valores atingidos pelos briquetes com água, gerando menos fragmentos devido suas ligações mais rígidas entre partículas e conseqüentemente atingindo resultados superiores.

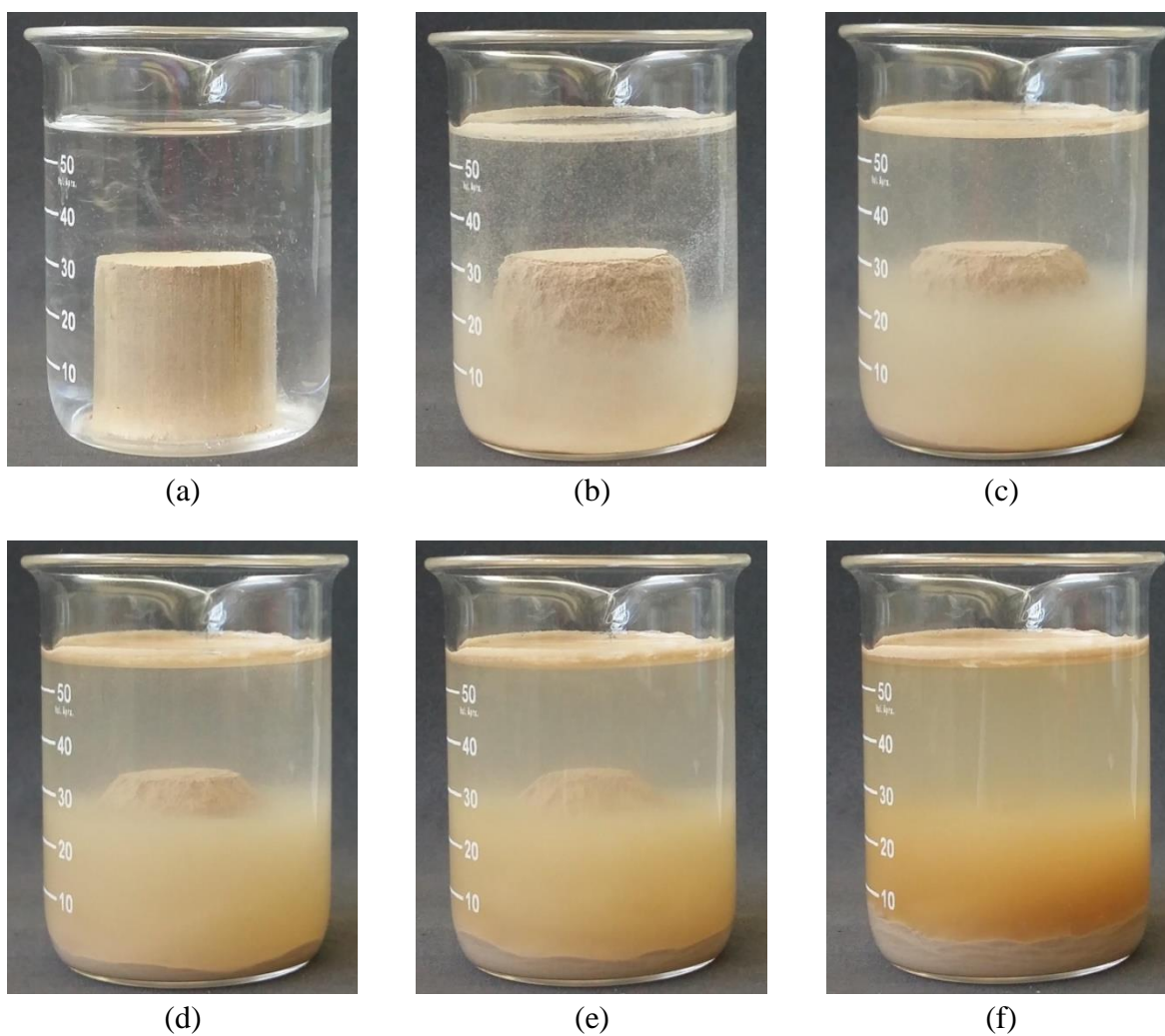
Tabela 8: Vistas superiores e laterais antes e depois das realizações dos testes de queda a 30 cm de altura com briquetes utilizando melaço de soja como aglomerante.

Melaço de Soja %	Antes do teste de queda		Depois do teste de queda	
	Vista Superior	Vista Lateral	Vista Superior	Vista Lateral
2,5				
5				
7,5				
8,5				

### 6.6.2. Teste de Decomposição a Ação da Água

Com os dados obtidos na realização do teste de resistência a ação da água, Figura 30, pode-se concluir que os briquetes obtiveram resistência quando submergidos. Apresentaram deterioração lenta, se desfazendo totalmente em um tempo médio aproximado de 1 hora até se manterem imóveis dentro do recipiente.

Figura 30: Tempo de imersão do briquete em água: (a) 1 segundo; (b) 10 minutos; (c) 20 minutos; (d) 30 minutos; (e) 40 minutos; (f) 1 hora e 5 minutos.

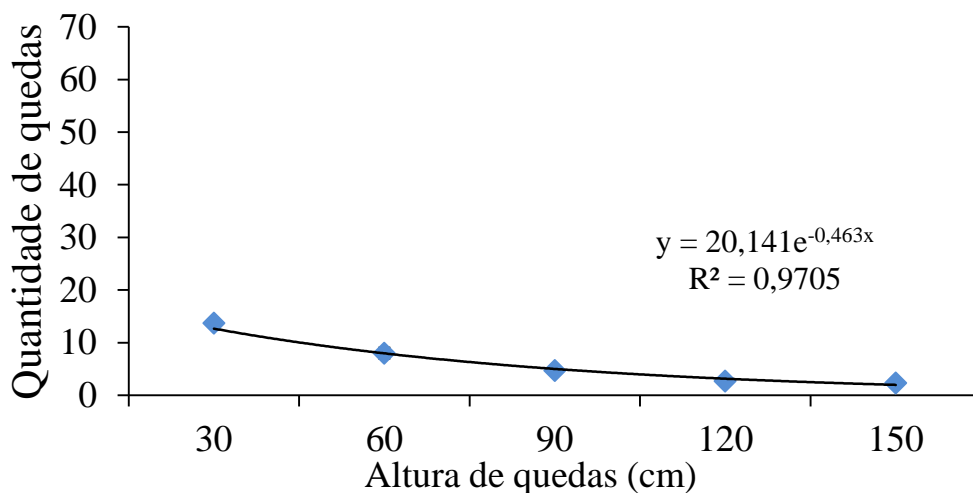


## 6.7. Caracterização dos briquetes utilizando Melado de Cana-de-açúcar como aglomerante

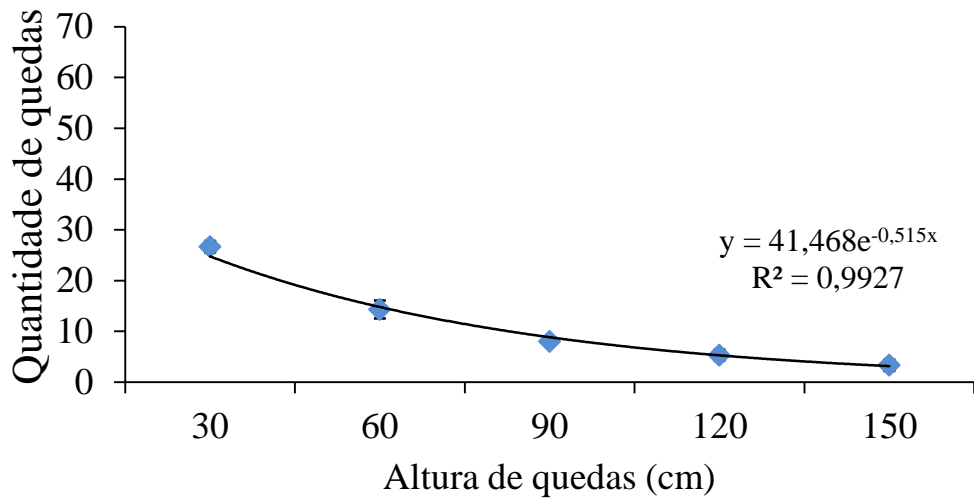
### 6.7.1. Teste de Resistência ao Impacto (*Shatter Test*)

A Figura 31 apresenta os resultados obtidos por meio da realização do teste de resistência ao impacto avaliando outro aglomerante orgânico, melado de cana-de-açúcar. A Figura 31 (d) apresenta o melhor resultado na altura de 30 cm. Esse aumento gradual de quedas entre as primeiras alturas de acordo com as dosagens de melado de cana-de-açúcar sugere que quanto maior a porcentagem desse aglomerante for adicionado ao produto mais resistência o briquete irá adquirir. O limite estabelecido foi 8,5% de aglomerante orgânico, pois foi o máximo que os cilindros de fabricação dos briquetes conseguiram suportar sem perder massa durante o experimento.

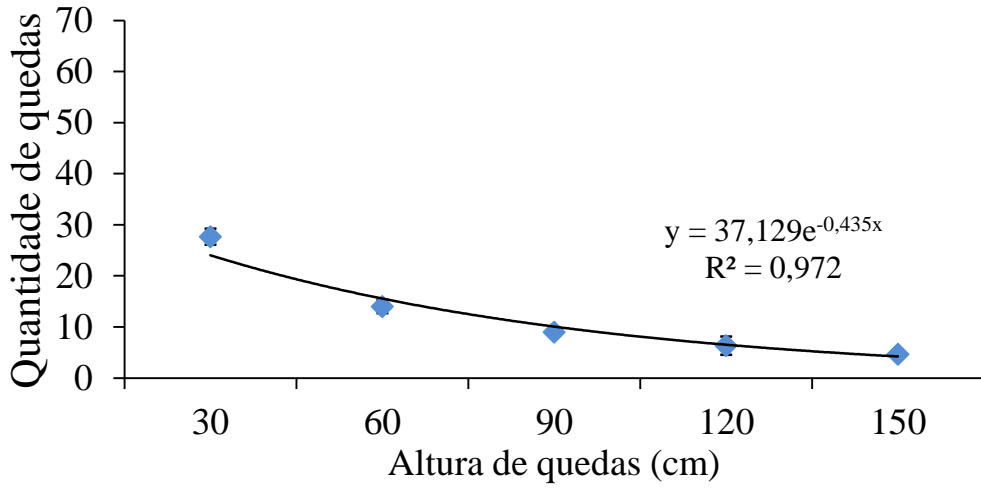
Figura 31: Quantidade de quedas em relação às alturas: (a) 2,5; (b) 5; (c) 7,5; (d) 8,5% de melado de cana-de-açúcar



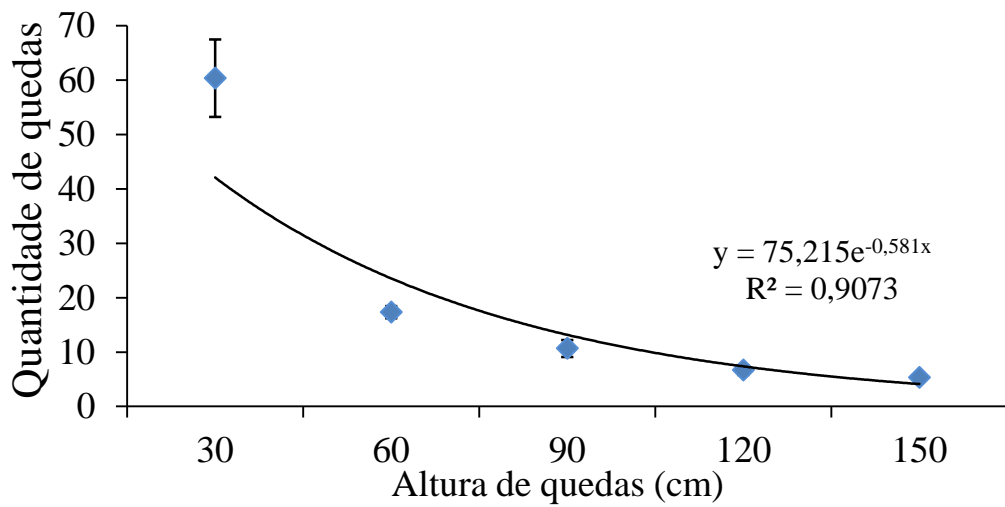
(a)



(b)



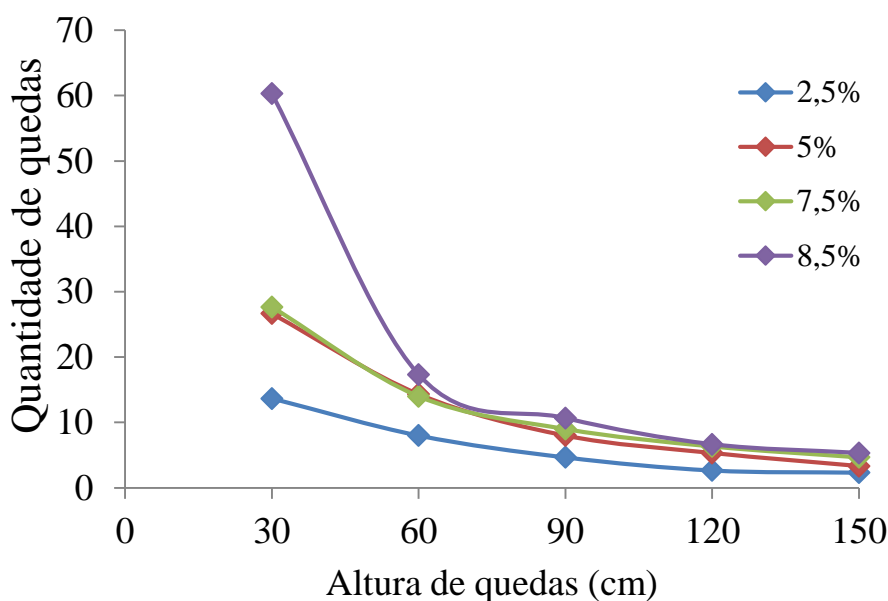
(c)



(d)

Os briquetes produzidos com 8,5% de melado de cana-de-açúcar obtiveram os melhores resultados. Os briquetes alcançaram mais de 60 quedas na primeira altura avaliada no teste de resistência ao impacto. A Figura 32 resume todos os dados em um único gráfico de modo a comparar os números de queda a determinada altura com o percentual de ganho de resistência, de acordo com a Figura 31.

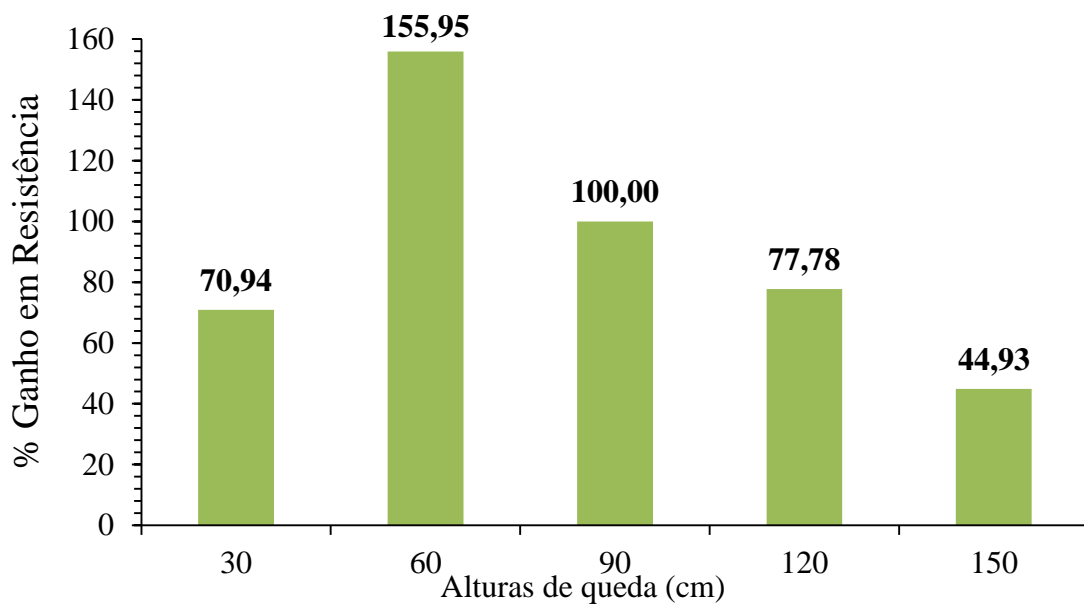
Figura 32: Representação gráfica dos dados de todos os testes de queda utilizando melado de cana-de-açúcar como aglomerante



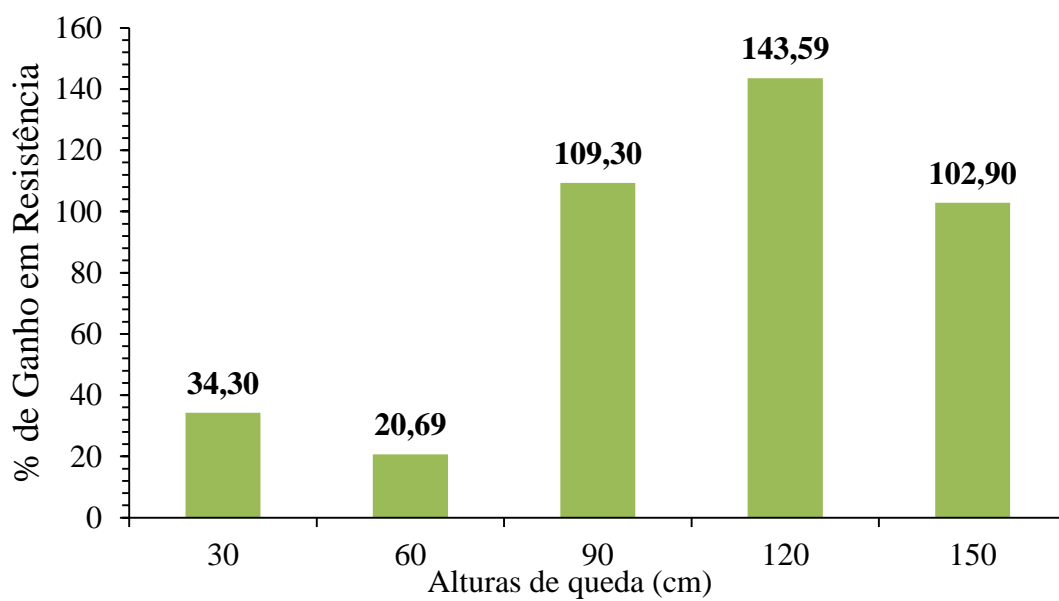
Os testes realizados utilizando 5% de melado de cana-de-açúcar como aglomerante apresentaram um acréscimo máximo de 155,95% na altura de 60 cm no número de quedas realizadas a partir do teste de resistência ao impacto comparado aos testes utilizando água como aglomerante. A análise foi realizada comparando os resultados de briquetes com 5% de umidade e 5% de melado de cana-de-açúcar, a Figura 33 (a) a seguir apresenta os resultados.

E a Figura 33 (b) apresenta o aumento percentual de quedas dos briquetes com 7,5% de melado de cana-de-açúcar em relação a mesma porcentagem de briquetes com água. Os resultados apresentam que o aumento de quedas foi maior nas três últimas alturas, 90, 120 e 150 cm para o aglomerante melado de cana-de-açúcar em relação a água.

Figura 33: Ganho percentual dos briquetes com: (a) 5% e (b) 7,5% de melado de cana-de-açúcar em relação aos briquetes produzidos com água nas mesmas porcentagens.



(a)



(b)

Como se pode observar na Figura 34, a massa específica dos briquetes com melado de cana-de-açúcar não apresentou diferença em relação a massa específica dos briquetes com melado de soja. Por se tratar de melados e possuírem quase as mesmas composições, apresentam massas específicas praticamente semelhantes. Por consequência, mantendo a massa específica dos briquetes equivalente.

Figura 34: Variação da massa específica dos briquetes em relação à porcentagem de aglomerante orgânico

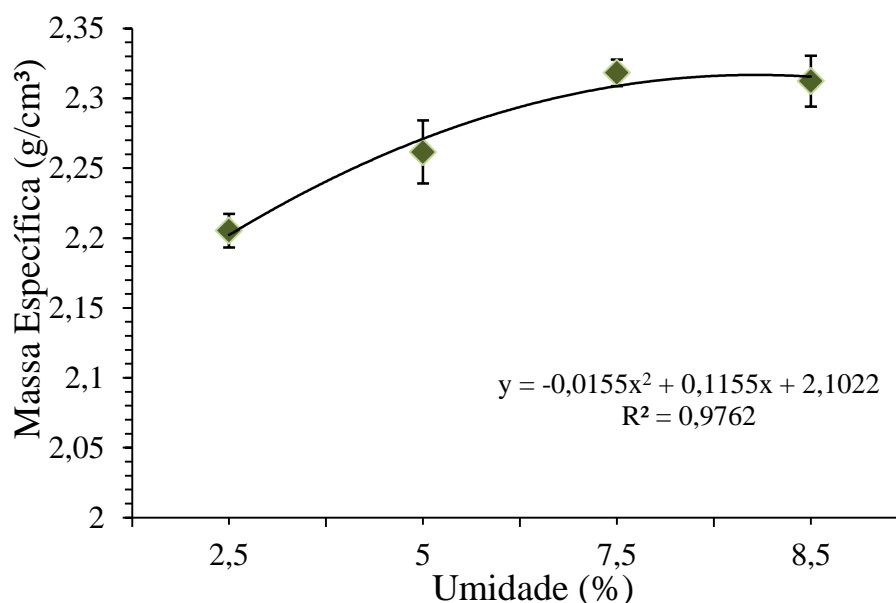
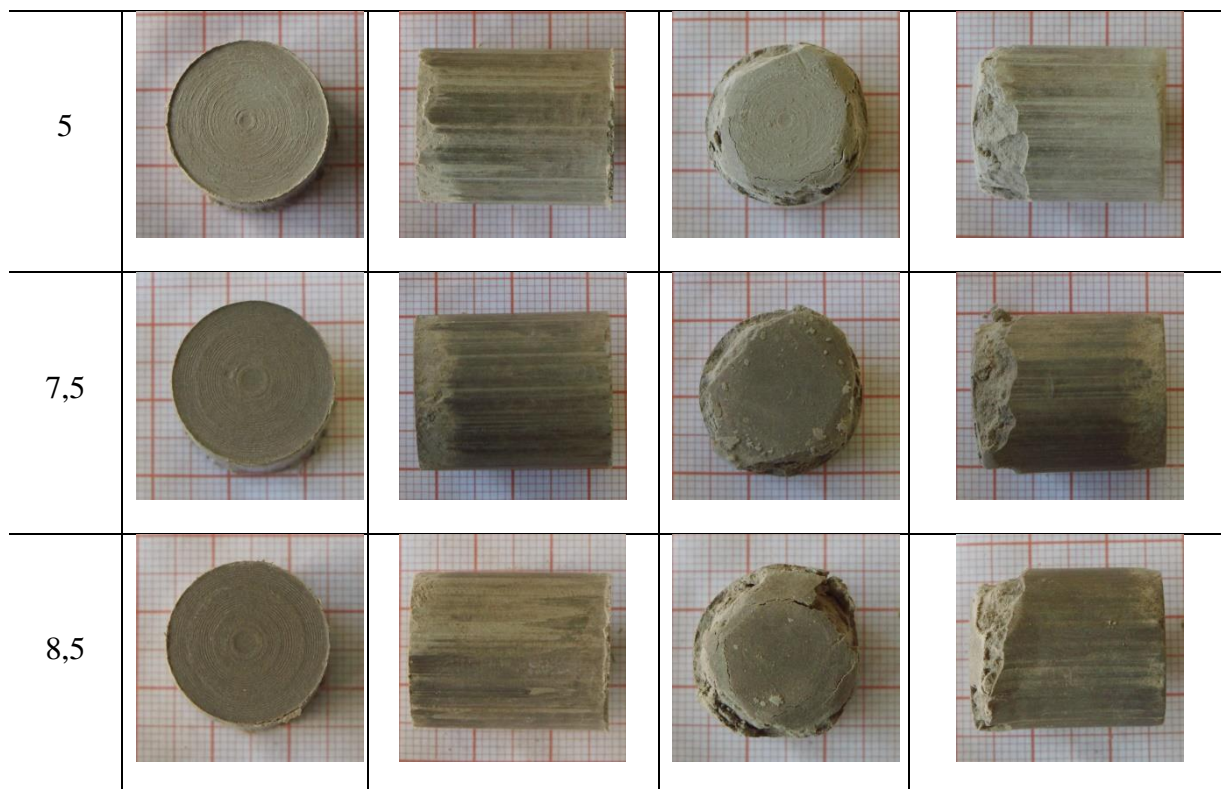


Tabela 9: Vistas superiores e laterais antes e depois das realizações dos testes de queda a 30 cm de altura com briquetes utilizando melado de cana-de-açúcar como aglomerante.

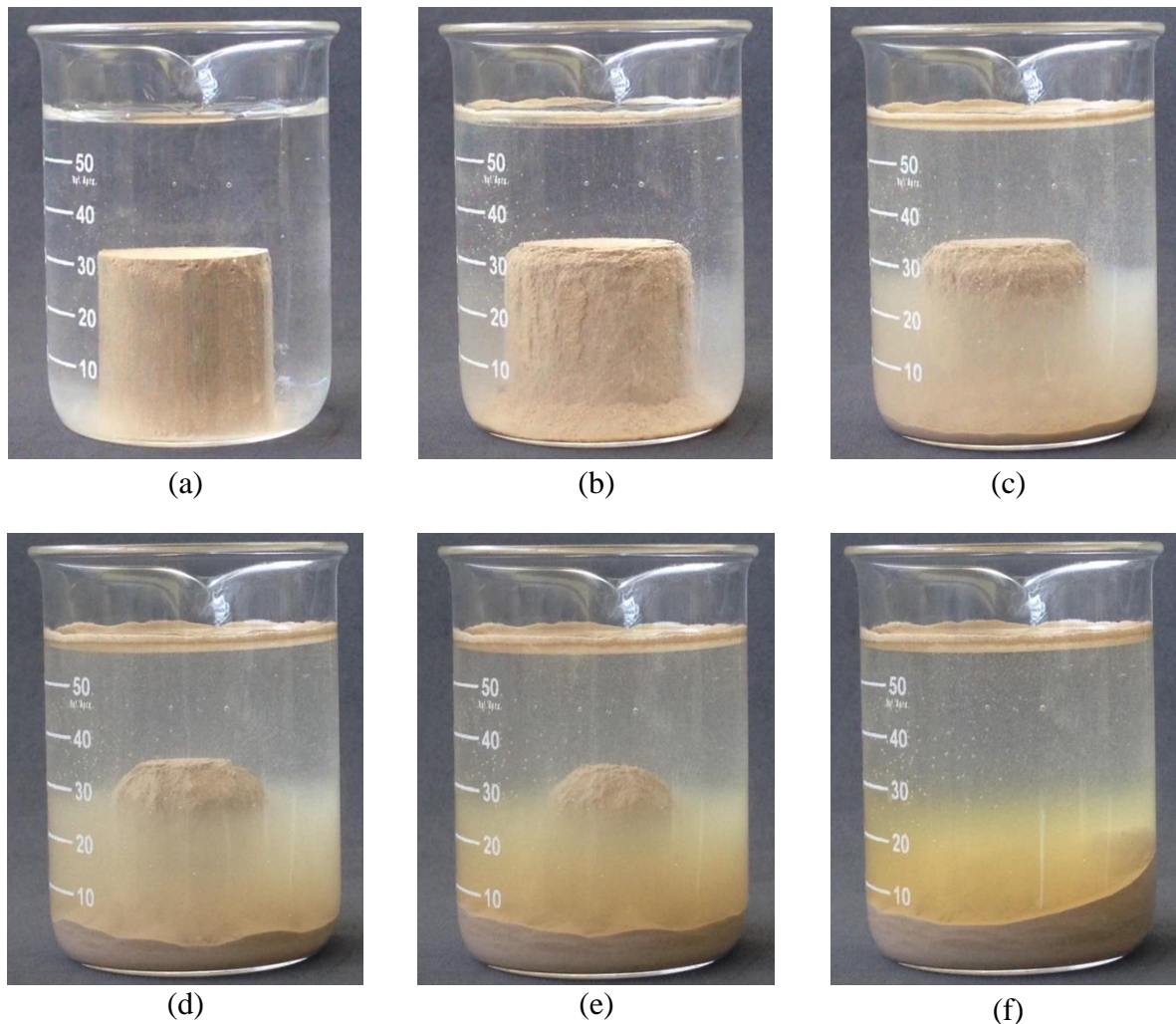
Cana-de-açúcar	Antes do teste de queda		Depois do teste de queda	
	Vista Superior	Vista Lateral	Vista Superior	Vista Lateral
2,5				



### 6.7.2. Teste de Decomposição a Ação da Água

Com os dados obtidos na realização do teste de resistência a ação da água pode-se concluir que os briquetes obtiveram resistência quando submergidos. Como pode ser observado na Figura 35, os briquetes apresentaram deterioração lenta, se desfazendo totalmente em um tempo médio aproximado de 1 hora até se manterem imóveis dentro do recipiente. Nota-se que a sedimentação em meio líquido também é lenta necessitando até 24 horas para que ocorra todo processo.

Figura 35: Tempo de imersão do briquete em água: (a) 1 segundo; (b) 10 minutos; (c) 20 minutos; (d) 30 minutos; (e) 40 minutos; (f) 45 minutos e (g) 50 minutos.



Assim como os briquetes fabricados utilizando água com aglomerante, este com melado de cana-de-açúcar teria sua destinação voltada a correção da acidez do solo. Porém utilização de cada um seria em momentos de necessidades distintas. O intuito é utilizar briquetes com água quando o solo necessitasse de correção a curto prazo, assim haveria rápida sedimentação e percolação nas camadas do solo quando o briquete entrasse em contato com água no meio externo. E briquetes com melaços seriam aplicados quando o interesse fosse manter a acidez do solo controlada por mais tempo com o briquete requerendo mais tempo para se decompor sob ação da água. Cada tipo de aglomerante será usado com o tipo de calcário solicitado para o solo e momento.

Por ser oriundo de plantas e por sua fabricação ser um processo exclusivamente mecânico (não envolvendo qualquer agente químico), a vasta maioria de nutrientes minerais

que estão contidos na cana-de-açúcar ainda estará presente no melaço. Outro benefício proporcionado pelo melaço é a sua habilidade de agir como agente quelato. Essa é uma forma de dizer que o melaço é uma das substâncias que podem converter nutrientes químicos em uma forma que será facilmente disponível aos seres vivos.

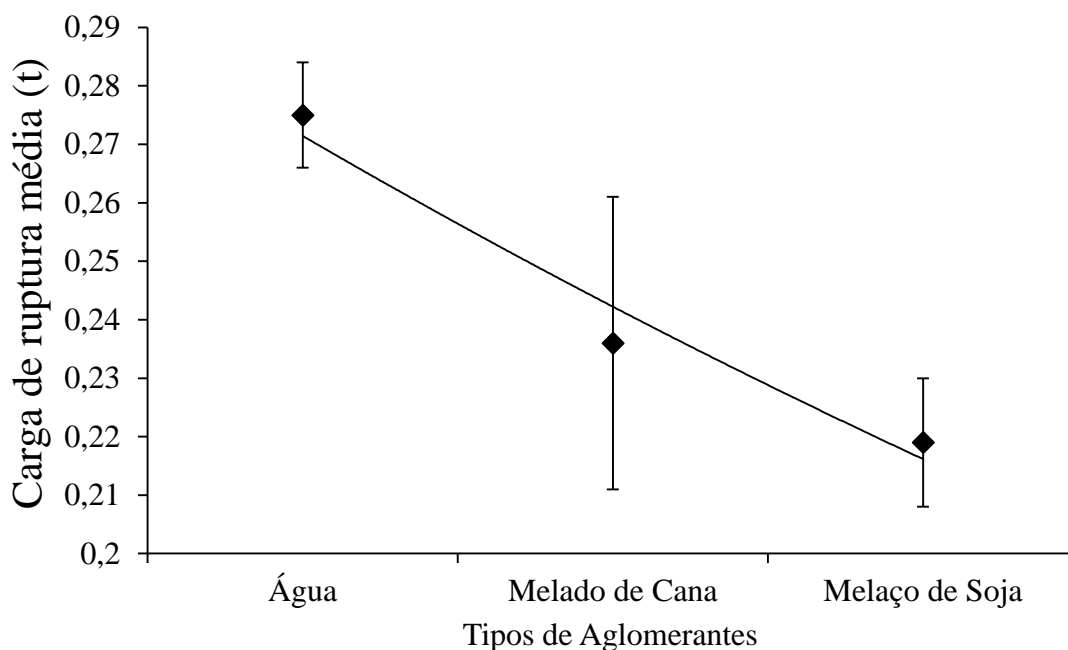
Sabe-se que o equilíbrio é crucial, por isso, qualquer micro nutriente quando presente em doses excessivas pode se tornar venenoso. Por essa razão, fontes orgânicas de micro nutrientes são os melhores meios de fornecê-los ao solo, ao contrário de fontes minerais que, se aplicadas em excesso, podem comprometer seriamente o solo e a cultura.

### 6.8. Teste de Resistência à Compressão Uniaxial

A Figura 36 apresenta os valores médios do teste de Resistência à Compressão Uniaxial dos briquetes com 7,5% de água e 8,5% de melaço de soja e melado de cana-de-açúcar. Briquetes com água em sua composição apresentaram os melhores resultados, seguido do melado de cana-de-açúcar e melaço de soja.

Segundo Eremin *et al.*, (2003) a plasticidade ou fragilidade do ligante, a força coesiva e a força de interação adesiva com a superfície das partículas determinam a resistência dos briquetes às cargas mecânicas. A presença de líquido, durante a aglomeração, resulta em forças interfaciais e pressões capilares, aumentando a ligação entre as partículas.

Figura 36: Resultados dos testes de compressão realizados com os melhores resultados obtidos no teste de Resistência ao Impacto.



Ligantes orgânicos se decompõem em altas temperaturas ( $>400^{\circ}\text{C}$ ), podendo assim ser degradados e exibem uma boa viscoelasticidade a temperatura ambiente, mas a perdem a elevadas temperaturas. Durante a compactação, pontes sólidas são desenvolvidas pelas reações químicas e sinterização, endurecimento do ligante, solidificação de substâncias fundidas ou cristalização de materiais dissolvidos (TUMULURU *et al.*, 2010).

Tumurulu *et al.*, (2010), afirma que o possível mecanismo de ligação durante a aglomeração pode ser devido à formação de pontes sólidas. O intertravamento de partículas pode auxiliar na resistência mecânica do aglomerado para suportar as forças destrutivas causadas pela recuperação elástica, após a compressão.

Um estudo realizado por Agra *et al.* (20-), os autores tiveram como objetivo produzir pelotas autorredutoras de pó de aciaria utilizando aglomerantes orgânicos. Os autores afirmam que aglomerantes orgânicos, em contraste com os inorgânicos, têm a vantagem de serem eliminados durante o aquecimento e conseqüentemente, não contaminam o produto. Em contrapartida, esses aglomerantes produziram pelotas com menor resistência a compressão. Segundo Zambrano *et al.* (2013), a principal desvantagens, é que ligantes orgânicos são altamente higroscópicos, há fácil polimerização em água e produz grânulos com baixa resistência à compressão.

Outra perspectiva para justificar a menor resistência dos aglomerantes orgânicos, foi que os briquetes foram submetidos ao teste de resistência a compressão imediatamente após sua fabricação, a partir disso até que o briquete fosse retirado dos moldes de aglomeração e fosse submetido aos testes de queda não houve tempo suficiente para que o aglomerante formasse pontes sólidas entre as partículas e endurecesse, conseqüentemente obtendo menor resistência a compressão (TUMURULU *et al.*, 2010).

O intuito é que o produtor rural utilize uma briquetadeira portátil adaptada a um mecanismo distribuidor do tipo queda livre que seja acoplado ao trator. O mecanismo de aplicação do briquete seria inicialmente semelhante ao calcário convencional, porém sua produção seria instantânea juntamente com a sua aplicação a uma altura máxima de 60 cm de altura.

## 6.9. Análise estatística dos resultados de *Shatter Test* - Analysis Of Variance (ANOVA)

Os resultados dos testes de resistência ao impacto revelaram resultados de resistência aproximados, tanto para melão de soja quanto para melado de cana-de-açúcar, e superiores aos resultados encontrados com água. Contudo, para avaliar estatisticamente o efeito da interação dos fatores, realizou-se o teste Análise de Variância, com o intuito de constatar se variações nas dosagens e nos tipos de aglomerantes geram resultados de resistência ao impacto estatisticamente diferente. Os resultados do teste ANOVA para os tipos de aglomerantes são apresentados pela Tabela 10, a seguir.

Tabela 10: Resumo dos dados de resistência ao impacto sob os fatores aglomerante e dosagem de aglomerante na altura de 30 cm.

RESUMO					
	Dosagem dos Aglomerantes				
<i>Água</i>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>TOTAL</b>
Contagem	3	3	3	3	12
Soma	62	53	61	61	237
Média	20,66666667	17,66666667	20,33333333	20,33333333	19,75
Variância	2,333333333	4,333333333	2,333333333	2,333333333	3,659090909
<i>Melão de Soja</i>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>TOTAL</b>
Contagem	3	3	3	3	12
Soma	80	93	118	118	409
Média	26,66666667	31	39,33333333	39,33333333	34,08333333
Variância	9,333333333	19	37,33333333	37,33333333	51,35606061
<i>Melado de Cana-de-açúcar</i>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>TOTAL</b>
Contagem	3	3	3	3	12
Soma	80	83	181	181	525
Média	26,66666667	27,66666667	60,33333333	60,33333333	43,75
Variância	2,333333333	4,333333333	94,33333333	94,33333333	335,6590909
<i>Total</i>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	
Contagem	9	9	9	9	
Soma	222	229	360	360	
Média	24,66666667	25,44444444	40	40	
Variância	12,5	43,02777778	333,75	333,75	

Tabela 11: Análise de Variância utilizando fator duplo com repetição para resultados a 30 cm de altura

ANOVA						
<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Aglomerante	3499,555556	2	1749,777778	67,80624327	1,33577E-10	3,402826105
Dosagem de Aglom.	2012,75	3	670,9166667	25,99892357	1,02695E-07	3,00878657
Interações	1665,333333	6	277,5555556	10,75565124	8,06129E-06	2,508188823
Erro	619,3333333	24	25,80555556			
Total	7796,972222	35				

O resultado de uma análise do tipo ANOVA fornece o valor estatístico de F. No caso do aglomerante, este valor foi de 67,8062 e para a dosagem o valor de F foi de 25,9989. O *valor p* para ambos os fatores é menor que 0,05. Desta forma, para os resultados serem significativos, o valor calculado de F deve ser pelo menos o valor do F crítico, ou seja, 3,4028 para o fator aglomerante e 3,0087 para a dosagem.

Como o valor calculado de F é muito maior que o valor crítico para F, pode-se afirmar que os resultados são significativos. Portanto, rejeita-se, ao nível de significância de 5%, a hipótese nula, e é aceita a hipótese de que os fatores aglomerante e dosagem geraram ao menos um resultado estatisticamente diferente. Desta maneira, o tipo de aglomerante utilizado, bem como a dosagem aplicada nos testes, influenciaram nos resultados de aglomeração.

A Figura 37 apresenta o gráfico individual dos resultados médios de número de quedas no teste de resistência mecânica a 30 cm de altura, os respectivos desvios padrões e análise estatística utilizando o teste de Tukey. Evidencia-se que os melhores resultados são obtidos com maiores dosagens de aglomerantes orgânicos. As letras maiúsculas indicam semelhança estatística entre os dados, e foram utilizadas para diferenciar as dosagens entre si.

Figura 37: Valores médios de resistência mecânica ao impacto (30 cm), desvio padrão e análise estatística utilizando o teste de Tukey com 5% de significância dos briquetes produzidos com aglomerantes diferentes.

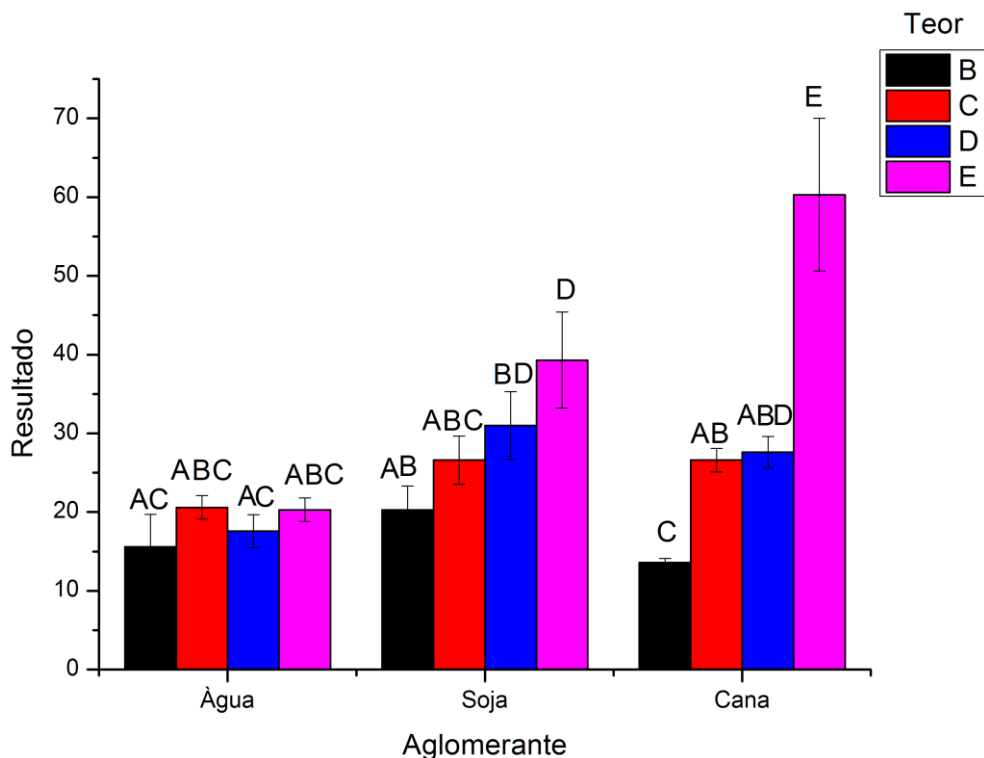


Tabela 12: Resumo dos dados de resistência ao impacto sob os fatores aglomerante e dosagem de aglomerante na altura de 60 cm.

RESUMO					
Água	Dosagem de Aglomerantes				Total
	B	C	D	E	
Contagem	3	3	3	3	12
Soma	17	35	22	20	94
Média	5,666666667	11,66667	7,333333	6,666667	7,833333
Variância	1,333333333	4,333333	2,333333	2,333333	7,606061
<hr/>					
Melaço de Soja	B	C	D	E	Total
Contagem	3	3	3	3	12
Soma	34	33	38	39	144
Média	11,33333333	11	12,66667	13	12
Variância	0,333333333	1	9,333333	7	4
<hr/>					
Melado de Cana-de-açúcar	B	C	D	E	Total
Contagem	3	3	3	3	12
Soma	24	43	42	52	161
Média	8	14,33333	14	17,33333	13,41667
Variância	1	6,333333	3	2,333333	14,81061

<i>Total</i>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>
Contagem	9	9	9	9
Soma	75	111	102	111
Média	8,3333333333	12,333333	11,333333	12,333333
Variância	6,75	5,25	13	24,5

Tabela 13: Análise de Variância utilizando fator duplo com repetição para resultados a 60 cm de altura

ANOVA						
<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Aglomerante	202,166667	2	101,0833	29,82787	3,11E-07	3,402826
Dosagem de Aglom.	96,75	3	32,25	9,516393	0,000252	3,008787
Interações	112,5	6	18,75	5,532787	0,00102	2,508189
Erro	81,33333333	24	3,388889			
Total	492,75	35				

Como o valor calculado de F é muito maior que o valor de F crítico, principalmente para fator aglomerante, pode-se afirmar que os resultados são significativos. Portanto, a hipótese nula de que os resultados dos testes são estatisticamente iguais é rejeitada. Com 95 % de confiança, conclui-se que o fator aglomerante e as dosagens geraram ao menos um resultado estatisticamente diferente e, portanto, influenciaram nos resultados de resistência ao impacto com a aplicação dos aglomerantes orgânicos.

Como as dosagens de aglomerantes não apresentaram diferença significativa entre si a partir de 60 cm de altura no teste de Tukey, a classificação que indica semelhança estatística foi realizada apenas entre os aglomerantes. De acordo com a Figura 38, os aglomerantes orgânicos não diferem entre si, conseqüentemente possuem a mesma letra de classificação.

Figura 38: Valores médios de resistência mecânica ao impacto (60 cm), desvio padrão e análise estatística utilizando o teste de Tukey com 5% de significância dos briquetes produzidos com três tipos de aglomerantes.

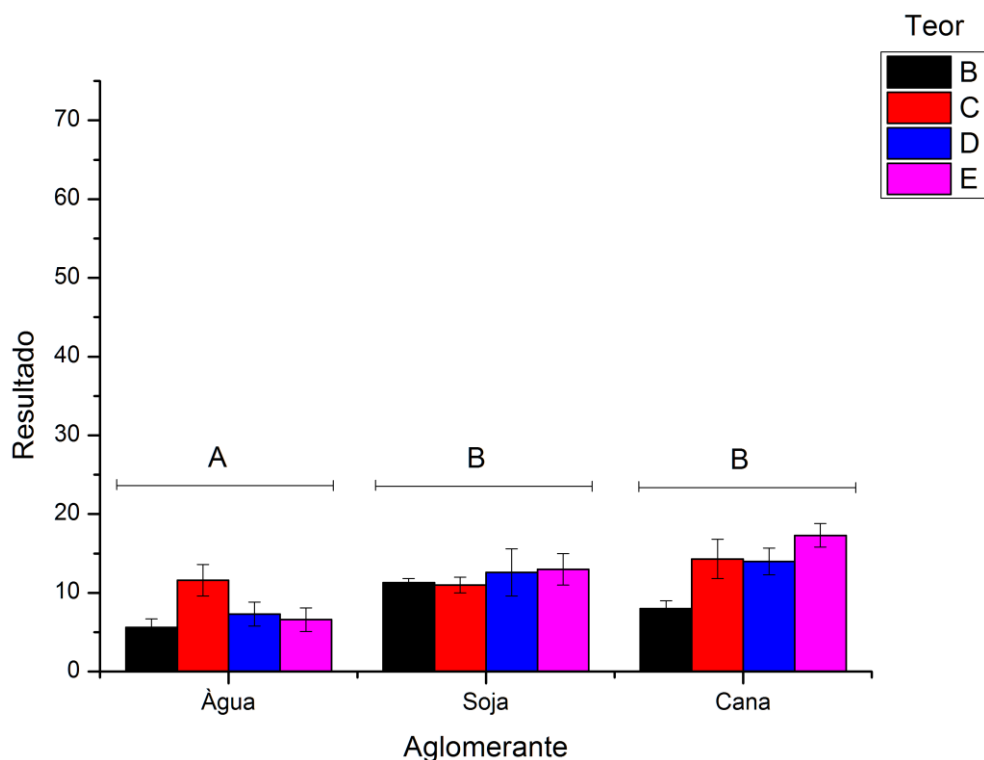


Tabela 14: Resumo dos dados de resistência ao impacto sob os fatores aglomerante e dosagem de aglomerante na altura de 90 cm.

RESUMO					
Dosagem de Aglomerante					
<i>Água</i>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>Total</b>
Contagem	3	3	3	3	12
Soma	12	13	11	19	55
Média	4	4,333333	3,666667	6,333333	4,583333
Variância	0	2,333333	2,333333	2,333333	2,44697
<i>Melaço de Soja</i>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>Total</b>
Contagem	3	3	3	3	12
Soma	21	19	26	25	91
Média	7	6,333333	8,666667	8,333333	7,583333
Variância	1	0,333333	1,333333	0,333333	1,537879
<i>Melado de Cana-de-açúcar</i>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>Total</b>
Contagem	3	3	3	3	12
Soma	14	24	27	32	97
Média	4,666667	8	9	10,66667	8,083333
Variância	0,333333	0	0	4,333333	6,083333

<i>Total</i>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>
Contagem	9	9	9	9
Soma	47	56	64	76
Média	5,222222	6,222222	7,111111	8,444444
Variância	2,194444	3,194444	7,611111	5,277778

Tabela 15: Análise de Variância utilizando fator duplo com repetição para resultados a 90 cm de altura.

ANOVA						
<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Amostra	86	2	43	35,18182	7,33E-08	3,402826
Colunas	50,52778	3	16,84259	13,7803	1,97E-05	3,008787
Interações	30,88889	6	5,148148	4,212121	0,004936	2,508189
Erro	29,33333	24	1,222222			
Total	196,75	35				

A partir de 90 cm de altura o número de quedas tendeu a si aproximar não diferenciando o aglomerante utilizado. Como dosagens de aglomerantes não apresentaram diferença significativa entre si a partir de 90 cm de altura no teste de Tukey, a classificação que indica semelhança estatística foi realizada apenas entre os aglomerantes. De acordo com a Figura, os aglomerantes orgânicos não diferem entre si, conseqüentemente possuem a mesma letra de classificação, de acordo com a Figura 39.

Figura 39: Valores médios de resistência mecânica ao impacto (90 cm), desvio padrão e análise estatística utilizando o teste de Tukey com 5% de significância dos briquetes produzidos com três tipos de aglomerantes.

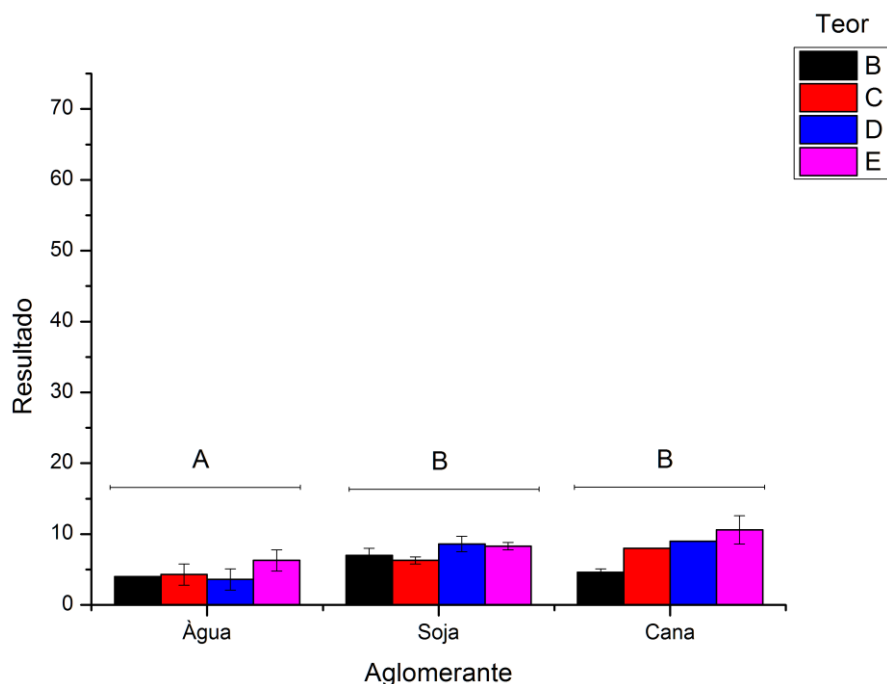


Tabela 16: Resumo dos dados de resistência ao impacto sob os fatores aglomerante e dosagem de aglomerante na altura de 120 cm.

RESUMO						
	Dosagem de Aglomerante				Total	
	Água	B	C	D		E
Contagem		3	3	3	3	12
Soma		9	8	9	11	37
Média		3	2,666667	3	3,666667	3,083333
Variância		1	0,333333	0	1,333333	0,628788
<hr/>						
	Melaço de Soja	B	C	D	E	Total
Contagem		3	3	3	3	12
Soma		12	15	17	17	61
Média		4	5	5,666667	5,666667	5,083333
Variância		0	0	0,333333	1,333333	0,810606
<hr/>						
	Melado de Cana-de-açúcar	B	C	D	E	Total
Contagem		3	3	3	3	12
Soma		8	16	19	20	63
Média		2,666667	5,333333	6,333333	6,666667	5,25
Variância		0,333333	2,333333	5,333333	1,333333	4,386364
<hr/>						
	Total	B	C	D	E	
Contagem		9	9	9	9	

Soma	29	39	45	48
Média	3,222222	4,333333	5	5,333333
Variância	0,694444	2,25	3,75	2,75

Tabela 17: Análise de Variância utilizando fator duplo com repetição para resultados a 120 cm de altura.

ANOVA						
<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Amostra	34,88889	2	17,44444	15,31707	5,16E-05	3,402826
Colunas	23,41667	3	7,805556	6,853659	0,001701	3,008787
Interações	13,33333	6	2,222222	1,95122	0,113221	2,508189
Erro	27,33333	24	1,138889			
Total	98,97222	35				

Figura 40: Valores médios de resistência mecânica ao impacto (120 cm), desvio padrão e análise estatística utilizando o teste de Tukey com 5% de significância dos briquetes produzidos com três tipos de aglomerantes.

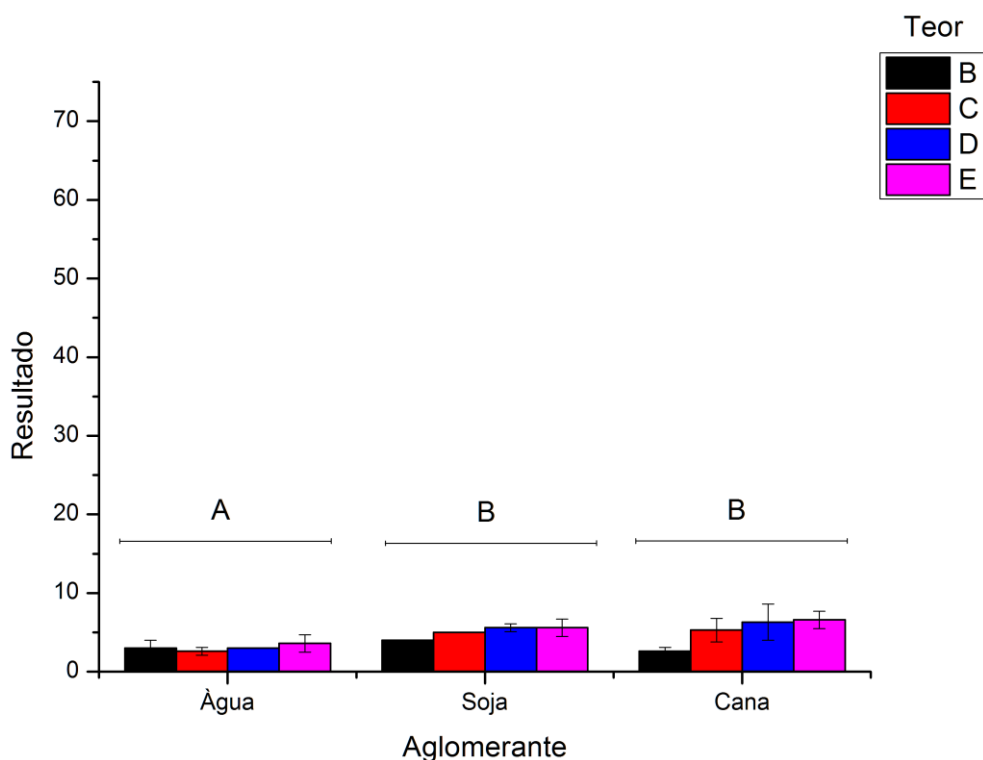


Tabela 18: Resumo dos dados de resistência ao impacto sob os fatores aglomerante e dosagem de aglomerante na altura de 150 cm.

RESUMO					
	Dosagem de Aglomerante				
<i>Água</i>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>Total</b>
Contagem	3	3	3	3	12
Soma	7	7	8	6	28
Média	2,333333	2,333333	2,666667	2	2,333333
Variância	0,333333	0,333333	1,333333	1	0,606061

<i>Melaço de Soja</i>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>Total</b>
Contagem	3	3	3	3	12
Soma	8	12	14	17	51
Média	2,666667	4	4,666667	5,666667	4,25
Variância	0,333333	3	0,333333	4,333333	2,75

<i>Melado de Cana-de-açúcar</i>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>Total</b>
Contagem	3	3	3	3	12
Soma	7	10	14	16	47
Média	2,333333	3,333333	4,666667	5,333333	3,916667
Variância	0,333333	2,333333	0,333333	0,333333	2,083333

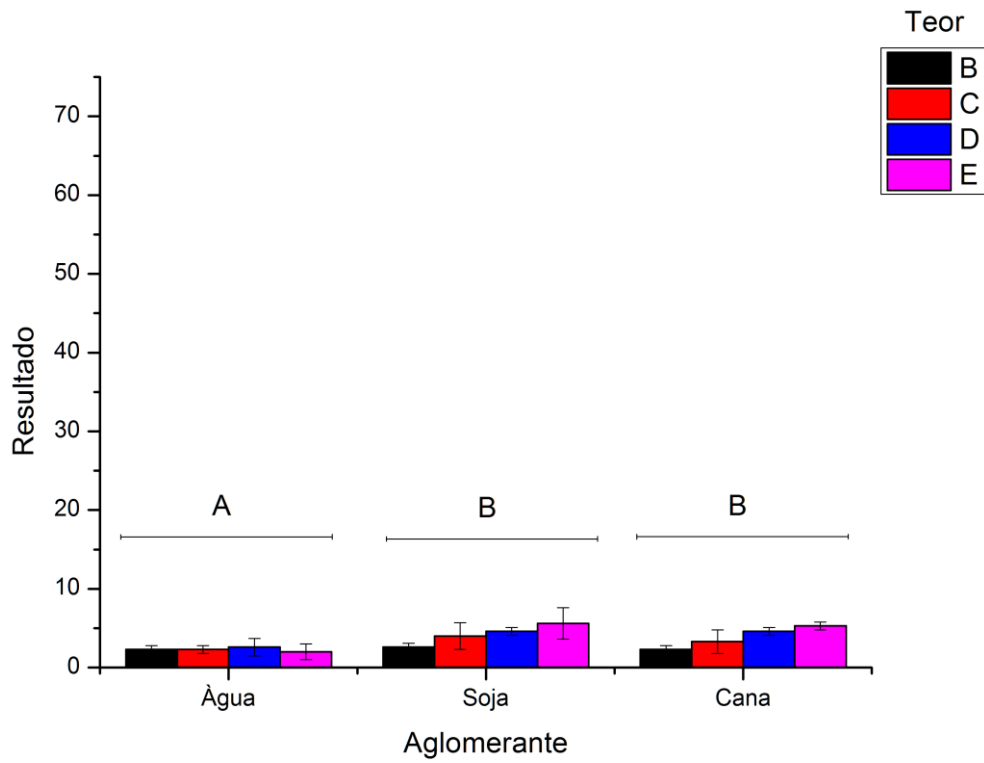
  

<i>Total</i>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>
Contagem	9	9	9	9
Soma	22	29	36	39
Média	2,444444	3,222222	4	4,333333
Variância	0,277778	1,944444	1,5	4,5

Tabela 19: Análise de Variância utilizando fator duplo com repetição para resultados a 150 cm de altura

ANOVA						
<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Amostra	25,16667	2	12,58333	10,53488	0,00052	3,402826
Colunas	19,22222	3	6,407407	5,364341	0,0057	3,008787
Interações	11,94444	6	1,990741	1,666667	0,172574	2,508189
Erro	28,66667	24	1,194444			
Total	85	35				

Figura 41: Valores médios de resistência mecânica ao impacto (150 cm), desvio padrão e análise estatística utilizando o teste de Tukey com 5% de significância dos briquetes produzidos com três tipos de aglomerantes.



A partir dos resultados dos fatores aglomerantes e dosagem, e a interação entre esses fatores pode-se observar que o  $F$  é maior que o  $F$  crítico em todas as alturas analisadas, ou seja, existe significância, e o *valor p* menor que 0,05 comprova esse argumento. Os resultados indicam que há diferença significativa entre aglomerante e dosagem.

## 7. CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos nesta pesquisa, os finos gerados através do tratamento mineral do calcário apresentaram características apropriadas para a geração de briquetes. Diante das análises dos resultados obtidos pode-se comprovar que este processo de aglomeração é uma opção tanto quantitativa quanto qualitativa quando se trata da necessidade de reutilização, pois reduz a quantidade de material exposto e atribui valor ao final do processo, fazendo com que o resíduo antes não utilizado e visto como passivo ambiental possa ser aproveitado.

Apesar de ser uma técnica antiga, a briquetagem está voltando a ser uma alternativa para agregar valor econômico a produtos residuais que possuam propriedades para serem submetidos ao processo. O produto originado da briquetagem possui como principais vantagens: alto valor agregado, são produzidos em tamanhos padrões, possuem alto poder calorífico, fácil manuseio, transporte e armazenagem, e menor índice de poluição.

A existência de material particulado em granulometria inferior a 1  $\mu\text{m}$  causa preocupação além do impacto ambiental por possuir partículas finas que podem ser transportadas pelo vento para outros locais, conseqüentemente diminuindo sua eficiência e o próprio material, e por afetar a saúde do trabalhador, já que assim há maior contato do material coloidal com o aplicador. Neste sentido, reforça-se a importância da briquetagem visando a saúde dos colaboradores.

Durante o beneficiamento muitos minerais necessitam de utilização de produtos sintéticos e até mesmo tóxicos. Outra vantagem é a utilização de água, fonte inorgânica, como aglomerante dos finos de calcário. Dessa forma não há contaminação do mineral de interesse e muito menos risco à saúde do operador no momento de sua adição a matéria prima. Além de ser um produto abundante na natureza, a água é um insumo relativamente barato comparado a outros aglomerantes, o qual não causará contaminação ao solo após a aplicação do briquete.

A utilização dos aglomerantes orgânicos é inovadora na área mineral assim como os resultados alcançados através dos ensaios resistência ao impacto, compressão e decomposição em água com os briquetes produzidos neste trabalho. Como o melaço de soja é resíduo de sua produção, aplicá-lo a indústria mineral é uma ideia interessante, pois a partir disso é possível aproveitar todo material residual deste grão, podendo tornar mais rentável os processos que utilizam esse insumo na indústria.

Por ser oriundo de plantas e por sua fabricação ser um processo exclusivamente mecânico (não envolvendo qualquer agente químico), a vasta maioria de nutrientes minerais

que estão contidos na cana-de-açúcar original ainda estará presentes no melado. Esse é um fator crítico, porque um fornecimento de nutrientes minerais é essencial para os micro-organismos, os quais atuam como catalisadores para criar enzimas que, por sua vez, metabolizam transformações bioquímicas, ou seja, os micro-organismos “quebram” as moléculas de fertilizantes orgânicos e nutrem as plantas. Dessa forma, além de corrigir a acidez do solo, os aglomerantes orgânicos podem ser uma alternativa para adubação orgânica.

Como principais vantagens da utilização de aglomerantes orgânicos pode-se citar: a menor quantidade adicionada à mistura, não há formação de resíduos, pois por ser a base de carbono sofrem combustão a altas temperaturas; apresentam composição homogênea e não geram resíduos poluentes formando dióxido de carbono que irá constituir o ciclo do carbono.

Conclui-se que o melado de cana-de-açúcar, foi eficaz na aglomeração de calcário em testes de resistência mecânica ao impacto, com resultados similares ao aglomerante inorgânico utilizado como parâmetro. Com a análise estatística ANOVA, conclui-se ainda que os fatores aglomerante e dosagens influenciaram de forma significativa, estatisticamente, nos resultados de resistência mecânica ao impacto.

O intuito do produto final visado pelo processo de aglomeração é possibilitar a aplicação dos finos de calcário na agricultura na forma de briquetes. Atualmente o produtor rural enfrenta perdas a partir de ações intempéricas utilizando o produto convencionalmente, após o processo de aglomeração haveria melhor aproveitamento do mesmo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT NBR 12767/92: **Rochas para revestimento**. Determinação da resistência à compressão uniaxial, 1992.

ABRAÃO, P. C. **Sobre a disposição de rejeitos de mineração no Brasil**. Simpósio sobre Barragens de Rejeito e Disposição de Resíduos Industriais e de Mineração. Rio de Janeiro – RJ, p. 1-9, 1987.

ALCARDE, J. C. **Corretivos da acidez dos solos: características e interpretações técnicas**. Assoc. Nacional para Difusão de Adubos. 2005; [acesso em 19 mar. 2016]. Disponível em: [http://www.anda.org.br/multimedia/boletim\\_06.pdf](http://www.anda.org.br/multimedia/boletim_06.pdf).

ALMEIDA, I. T. **A poluição atmosférica por material particulado na mineração a céu aberto**. Dissertação de Mestrado – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1999.

ALMEIDA, C. A. K. **Comportamento do hidrociclone filtrante frente às modificações no diâmetro de *underflow* e no tubo de *vortex finder***. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Uberlândia – UFU, Uberlândia, MG, 2008.

ALMEIDA, W. J. M. **As Rochas Calcárias**. Terras Brasileiras, Capítulo VIII, 2009. Disponível em: < <http://www.wjmansodealmeida.com.br/p/18>> Acesso em: 11/08/2015.

ARAUJO, C. B. **Estudo do Comportamento de Barragens de Rejeito de Mineração**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, 2008.

ARAUJO, A. P. B.; FERNANDES, A. L. T. **O passivo ambiental do fosfogesso gerado nas indústrias de fertilizantes fosfatados e as possibilidades de aproveitamento**. Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.9, n.16; p. 2013.

BACCI, D. L. C.; LANDIM, P. M. B.; ESTON, S. M. **Aspectos e impactos ambientais de pedreira em área urbana**. Revista da Escola de Minas de Ouro Preto, Ouro Preto, v. 59, n.1, p. 47-54, 2006.

BARRETO, M. L. **Mineração e desenvolvimento sustentável: Desafios para o Brasil.** Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2001.

BATES, J. **Parâmetros no Projeto de Pilhas e Barragens.** Ed. Signus, v.1, p. 17. 2003.

BERTOLI, A. L.; RIBEIRO, M. S. **Passivo ambiental: estudo de caso de Petróleo Brasileiro S.A - Petrobrás. A repercussão ambiental nas demonstrações contábeis, em consequência dos acidentes ocorridos.** Revista de Administração Contemporânea, Curitiba, v. 10, n. 2, 2006.

BRITO, F. I. G., MEDEIROS, K. F., LOURENÇO, J. M. **Um estudo teórico sobre a sinterização na metalurgia do pó.** Revista Holos, Ano 23, Vol. 3, 2007.

CALCÁRIO CUIBÁ. **Calcário filler.** 2015. Disponível em: <  
<http://www.calcariocuiaba.com.br/produtos/calcariofiller>> Acesso em: 22 mai. 2016.

CAMPOS, A. R.; CAMPOS, V. R. **Capítulo 16 - Aglomeração - Parte II: Pelotização.** In: LUZ, A. B. da; SAMPAIO, J. A.; FRANÇA S. C. A. Edição 5º, Tratamento de Minérios. Rio de Janeiro: CETEM, 2010.

CARVALHO, E. A., BRINCK V. **Briquetagem.** In: LUZ, A. B., SAMPAIO, J. A., ALMEIDA, S. L. M. Tratamento de Minérios, Edição 4ª. Rio de Janeiro, CETEM/MCT, 2004.

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

CASTELÕES, R. C. M.; CAMPOS, A. R. **Briquetagem de finos de barita da Bahia.** CETEM, 1994.

CATHERINE, H., SKINNER, W. “The Earth, Source of Health and Hazards: An Introduction to Medical Geology.” Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 2007.

COLEMAN, N. T.; THOMAS, G. W. **The basic chemistry of soil acidity**. In: PEARSON, R.W. & ADAMS, F., eds. Soil acidity and liming. Madison, American Society of Agronomy, 1967. p.1-41.

COSTA, B. M. **Uso do Calcário Agrícola em Pastagens**. Departamento de Zootecnia. Escola de Agronomia, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2000.

CRPM. **Perspectivas do Meio Ambiente do Brasil – Uso do Subsolo**. MME - Ministério de Minas e Energia, 2002.

CUNHA, A. F. **Caracterização, Beneficiamento e Reciclagem de Carepas Geradas em Processos Siderúrgicos**. Ouro Preto: REDEMAT/ UFOP, 2006.

DIAS, R. F. **Controle Ambiental de Mineração. “Deposição de Rejeitos de Mineração”**. Ed. Do Departamento Nacional de Produção Mineral, Brasília, 1985, v.2, p. 148-151, 1985.

DEC, R. T. **Processing of Industrial Wastes in the Roller Press for Recycle or Safe Disposal**. Powder Handling and Processing, v.17, n.3, p.156-162, 2005.

EREMIN, A. Y.; BABANIN, V. I.; KOZLOVA, S. Y. **Establishing the Requirements for Indices Characterizing the Mechanical Strength of Briquettes with Binders**. Metallurgist, v.47, n.11-12, p.437-446, 2003.

ERNANI, P. R.; NASCIMENTO, J. A. L.; CAMPOS, M. L.; CAMILLO, R. J. **Influência da combinação de fósforo e calcário no rendimento de milho**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 24:537-544, 2000.

FARIA, C. **Passivo Ambiental**. Info Escola – Navegando e Aprendendo, 2015. Disponível em: <<http://www.infoescola.com/ecologia/passivo-ambiental/>> Acesso em: 22 ago. 2015.

FARIAS, C. E. G. **Mineração e o meio ambiente no Brasil**. Relatório Preparado para o CGEE. 2002.

FERREIRA, M. R. **Projeto Resíduo Zero**. Prêmio Mineiro De Boas Práticas Em Gestão De Resíduos Sólidos Industriais, 2015.

FLORES, W. P.; YAMAJI, F. M.; VENDRASCO, L.; COSTA, D. R. **Redução do volume de biomassa no processo de briquetagem**. Revista da Madeira. Curitiba. n.121, p. 32-34, 2009.

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 aglomerantes**. In: XXVI Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa, Poços de Caldas, Minas Gerais, 2015.

GONÇALVES JÚNIOR, S. J. **Avaliação da participação de material particulado e seus impactos à saúde humana em escolas próximas a vias de tráfego veicular e refinaria de petróleo** [Dissertação de mestrado], Curitiba: Universidade Federal do Paraná; 2014.

Grupo Mocelim. **Calcário Agrícola**. Disponível em: <<http://www.grupomocelim.com.br/agricola.php>> Acesso em: 23/07/2016.

HAYNES, R. J.; NAIDU, R. **Influence of lime, fertilizer and manure applications on soil organic matter content and soil physical conditions: A review**. Nutr. Cycling Agroecosy., 51:123-137, 1998.

HENDGES, A. S. **Diagnóstico dos Resíduos Sólidos de Mineração no Brasil**, 2012. Disponível em: <<http://www.ecodebate.com.br/2012/01/31/diagnostico-dos-residuos-solidos-de-mineracao-no-brasil-artigo-de-antonio-silvio-hendges/>>. Acesso em: 31 mai. 2016.

HERING, A. C. **Melado De Cana De Açúcar**. 2016

KAMPA, M.; CASTANAS, E. **Human health effects of air pollution**. Environ Pollut. 2008 Jan;151(2):362-7.

KOMAREK, R. K. **Selecting Binders and Lubricants for Agglomeration Processes**. Chemical Engineering Magazine, 1967.

KORNDÖRFER, G. H. **Corretivos de acidez**. In: Universidade Federal de Uberlândia. Instituto de Ciências Agrárias. Disciplina de Adubos e Adubações. Uberlandia, 2001.

LEITE, A. L. S.; SILVA, C. M. G.; BARBOSA, R. **Análise ergonômica no processo da extração de calcário laminado: estudo de caso**. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 23., Ouro Preto, 2003, Anais ... Ouro Preto: 2003. p.1-7.

LOPES, A. S.; SILVA, M. C.; GUILHERME, L. R. G. **Acidez do Solo e Calagem**. Associação Nacional para Difusão de Adubos. São Paulo – SP, 1991.

LOPES, C. M. A. **Taboa Lagoa: um Caso de Inovação e Desenvolvimento Sustentável da Samarco Mineração**. Simpósio de Excelência em Gestão da Tecnologia. Tema: Gestão, Inovação e Tecnologia para a Sustentabilidade. Resende - Rio de Janeiro, 2012.

LUZ, A. B.; SAMPAIO, J. A.; FRANÇA, S. C. A. **Tratamento de Minérios** – 5ª Edição, Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2010.

MACHADO, F. B.; MOREIRA, C. A.; ZANARDO, A.; ANDRÉ, A. C.; GODOY, A. M.; FERREIRA, J. A.; GALEMBECK, T.; NARDY, A. J. R.; ARTUR, A. C.; OLIVEIRA, M. A. F. **Atlas de Rochas**. Disponível em: <http://www.rc.unesp.br/museudpm>. Acesso em 10 de agosto de 2015.

MANOCHIO, C. **Produção de Bioetanol de Cana-De-Açúcar, Milho e Beterraba: Uma Comparação dos Indicadores Tecnológicos, Ambientais e Econômicos**. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Federal de Alfenas, Poços de Caldas, 2014.

MANSUR, A. **Aplicação de Corretivos de Acidez dos Solos - Calcário Agrícola**. Sindicato das Indústrias de Calcário e Derivados para Uso Agrícola do Estado de São Paulo, 2014. Disponível em: < <http://www.sindical.com.br/espaco-do-agricultor/beneficios-do-calcario>>. Acesso em: 23/07/2016.

MARTINS JÚNIOR, F. L. **Calcário Agrícola**. Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM). Tocantins, 2015.

MORAES, S. L., KAWATRA, S. K. **Avaliação do uso de combinações de aglomerantes na pelotização de concentrado de magnetita pela tecnologia de aglomeração em tambor**

(**balling drum**). *Tecnol. Metal. Mater. Miner.*, São Paulo, v. 8, n. 3, p. 168-173, jul.-set. 2011.

SILVA, J. P. S. **Impactos ambientais causados por Mineração**. *Revista Espaço da Sophia*. Nº 08, 2007.

NAHAS, S.; SEVERINO, J. **Calcário Agrícola no Brasil**. CETEM/MCT. Rio de Janeiro, 2003.

NAUJACK, J.; FERREIRA, J. L.; STELA, E. R. **Contabilidade ambiental: uma revisão de conceitos**. *Anais... Encontro Paranaense de Pesquisa e Extensão em Ciências Sociais Aplicadas – VII ENPPEX*. Paraná, 2011.

Normas Reguladoras de Mineração. **NRM 18/2001- Beneficiamento**. Departamento Nacional de Produção Mineral, 1967.

OLIVEIRA, M. D. M. **Custo operacional e ponto de renovação de tratores agrícolas de pneus: avaliação de uma frota**. Dissertação de Mestrado – Escola Superior de Agricultura Luiz Queiroz. Piracicaba, 2000.

OLIVEIRA, E. R. **Elaboração e caracterização de mini-pelotas utilizando resíduos siderúrgicos e pellet feed para posterior utilização na sinterização de minério de ferro**. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2003.

PASSOS, N. C. S. T. **Barragem de Rejeito: Avaliação dos parâmetros geotécnicos de rejeito de minério de ferro utilizando ensaios de campo – um estudo de caso**. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2009.

PARAHYBA, R. E. **Calcário Agrícola. Economia Mineral do Brasil**. Departamento Nacional de Produção Mineral, 2009.

PAVAN, M. A.; BINGHAM, F. T.; PRATT, P. F. **Toxicity of aluminum to coffee in Ultisols and Oxisols amended with CaCO<sub>3</sub> and CaSO<sub>4</sub>**. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 46:1201-1207, 1982.

POQUILLON, D., LEMAITRE, J., BACO-CARLES, V., TAILHADES, P., LACAZE, J. **Cold Compaction of Iron Powders – Relations between Powder Morphology and Mechanical Properties – Part I: Powder Preparation and Compaction.** Powder Technology, v.126, pp. 65-74, 2002.

PROCESSO SIDERURGICO. **Aços & Ligas.** Aço: Processos de Fabricação, 2015. Disponível em: <<http://www.infomet.com.br/site/acos-e-ligas-conteudo-ler.php?codConteudo=232>>.

QUIRINO, W. F., BRITO, J. O. **Características e índice de combustão de briquetes de carvão vegetal.** Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - Diretoria de Incentivo à Pesquisa e Divulgação. Laboratório de Produtos Florestais. LPF – Série Técnica, nº 13. Brasília, 1991.

ROSOLEM, C. A.; MARCELLO, C. S. **Crescimento radicular e nutrição mineral da soja em função da calagem e adubação fosfatada.** Sci. agric. vol. 55 n. 3 Piracicaba, 1998.

SAMPAIO, J. A.; ALMEIDA, S. L. M. **Rochas e Minerais Industriais.** CETEM, 2ª Edição, 2008.

SAMPAIO, J. A., COSTA, L. S. N., ANDRADE, M. C. **Ensaio contínuo de briquetagem em bancada e piloto.** Comunicação Técnica elaborada para o Livro Tratamento de Minérios: Práticas Laboratoriais, Parte V – Aglomeração, Capítulo 22, pág. 379. Rio de Janeiro, 2007.

SAMPAIO, J. A.; ALMEIDA, S. L. M. **Calcário e Dolomito.** In: LUZ, A. B.; LINS, F. A. F. Rochas e Minerais Industriais. 2ª edição. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2008. p. 363 - 391. Disponível em: <[http://www.cetem.gov.br/files/docs/livros/2008/Rochas%20Min.Ind.2a%20edicao%20\(Adao%20e%20F.Lins\).pdf](http://www.cetem.gov.br/files/docs/livros/2008/Rochas%20Min.Ind.2a%20edicao%20(Adao%20e%20F.Lins).pdf)>.

SILVA, J. O. **Perfil Do Calcário. Projeto de assistência técnica ao setor de energia.** Secretaria De Geologia, Mineração e Transformação Mineral – SGM. J Mendo Consultoria, 2009.

SILVA, J. P. S. **Impactos ambientais causados por mineração**. Revista Espaço da Sophia - nº 08, 2007.

SIQUEIRA, P. F.; KARP, S. G.; CARVALHO, J. C.; STURM, W.; RODRÍGUEZ-LEÓN, J. A.; THOLOZAN, J. L.; SINGHANIA, R. R.; PANDEY, A.; SOCCOL, C. R. **Production of bio-ethanol from soybean molasses by *Saccharomyces cerevisiae* at laboratory, pilot and industrial scales**. Bioresource Technology, 2008.

SOARES, L. **Barragem de rejeito**. Tratamento de Minérios. In: Luz, A. B., Sampaio, J. A., Almeida, S. L. M. (eds); Tratamento de Minérios. 4ª ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2010, p. 831-896.

SOUSA, J. F.; VIDAL, F. W. H. **Rochas Carbonáticas. Contribuição Técnica elaborada para o Livro Rochas e Minerais Industriais do Ceará**. Centro de Tecnologia Mineral, p. 49-66, Rio de Janeiro, 2005.

STRANGER, M. **Characterisation of Health Related Particulate and Gasphase Compounds in Multiple Indoor And Outdoor Sites in Flanders**. Tese de Doutorado - Universiteit Antwerpen. 2005.

TRANI, P. E. **Calagem e adubação para hortaliças sob cultivo protegido**. 2007. Artigo em Hypertext. Disponível em: <[http://www.infobibos.com/Artigos/2007\\_1/cp/index.htm](http://www.infobibos.com/Artigos/2007_1/cp/index.htm)>. Acesso em: 25/5/2016.

TONON. **História da Produção de Álcool e Etanol no Brasil**, 2013. Disponível em: <[http://www.tononbioenergia.com.br/tononbioenergia/web/conteudo\\_pti.asp?idioma=0&tipo=45471&conta=45](http://www.tononbioenergia.com.br/tononbioenergia/web/conteudo_pti.asp?idioma=0&tipo=45471&conta=45)>. Acesso em: 05/07/2016.

TUMULURU, J. S., WRIGHT, C. T., KENNY, K. L., HESS, J. R. **A Review on Biomass Densification Technologies for Energy Application**. USA: Idaho National Laboratory - Department of Energy National, 2010. 96p.

VASCONCELOS, C. C. S. **Processo de Extração do Marmóre e Suas Aplicações na Construção Civil na Cidade de São Rafael – RN.** Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal Rural do Semi-árido. Mossoró, 2013.

VILLAVICENCIO, A. R. N.; S. SANT'ANNA, E.; TÔRRES R. C. O. **Produção de Lactobacillus plantarum em Melado de cana-de-açúcar.** Brazilian Archives of Biology and Technology, Vol.42 n.2 Curitiba, 1999.

VIAN, C. E. F. **Agroindústria canavieira: estratégias competitivas e modernização.** São Paulo: Átomo, 2003. 217 p.

WILLS, B. A. **Mineral Processing Technology: An Introduction to Practical Aspects of ore Treatment and Mineral Recovery.** Amsterdam: Elsevier, 2006.

ZAMBRANO, A. P.; TAKANO, C.; MOURÃO, M. B.; TAGUSAGAWA, S. Y. **Influence of the Binder on the Mechanical Properties of the Chromite Self-Reducing Pellets.** International Journal of Business, Humanities and Technology, Vol. 3, n 8; Dec. 2013.