



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MINAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MINERAL

JAYSON DAGOBERTO DOS SANTOS CARNEIRO

**APROVEITAMENTO DE REJEITOS DO BENEFICIAMENTO DE MICA E
PEGMATITOS NO CULTIVO DE MUDAS DE MORINGA (*Moringa oleífera* Lam)
NO SERIDÓ PARAIBANO**

Recife

2020

JAYSON DAGOBERTO DOS SANTOS CARNEIRO

**APROVEITAMENTO DE REJEITOS DO BENEFICIAMENTO DE MICA E
PEGMATITOS NO CULTIVO DE MUDAS DE MORINGA (*Moringa oleífera* Lam)
NO SERIDÓ PARAIBANO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral da Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Mineral.

Área de Concentração: Minerais Industriais

Orientador: Prof. Dr. Júlio César de Souza.

Coorientador: Prof. Dr. Djair Alves de Melo.

Recife

2020

Catálogo na fonte:
Bibliotecária Sandra Maria Neri Santiago, CRB-4 / 1267

- C289a Carneiro, Jayson Dagoberto dos Santos.
Aproveitamento de rejeitos do beneficiamento de Mica e Pegmatitos no cultivo de mudas de Moringa (*Moringa oleífera* Lam) no Seridó Paraibano / Jayson Dagoberto dos Santos Carneiro. – 2020.
137 f. : il., figs., tabs.
- Orientador: Prof. Dr. Júlio César de Souza.
Coorientador: Prof. Dr. Djair Alves de Melo.
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral, Recife, 2020.
Inclui referências.
1. Engenharia mineral. 2. Mineração e meio ambiente. 3. Gestão ambiental. 4. Resíduos sólidos. 5. Produção de mudas. 6. Impacto ambiental na mineração. I. Souza, Júlio César de (Orientador). II. Melo, Djair Alves de (Coorientador). III. Título.

UFPE

622.35 CDD (22. ed.)

BCTG/2022-86

JAYSON DAGOBERTO DOS SANTOS CARNEIRO

**APROVEITAMENTO DE REJEITOS DO BENEFICIAMENTO DE MICA E
PEGMATITOS NO CULTIVO DE MUDAS DE MORINGA (*Moringa oleífera* Lam)
NO SERIDÓ PARAIBANO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral da Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Mineral. Área de Concentração: Minerais Industriais.

Aprovada em: 28/02/2020

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Júlio César de Souza (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Márcio Luiz de Siqueira Campos Barros (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Joab Josemar Vitor Ribeiro do Nascimento (Examinador Externo)
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba

Dedico este trabalho à minha Mãe Joana D'arc dos Santos Carneiro, por ser a principal responsável por minha educação acadêmica e aos meus Filhos Pedro Eduardo Moraes Guimarães Carneiro e Lis Alves Guimarães Carneiro por serem minha principal fonte de motivação e a razão do meu viver.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Deus todo poderoso pelo dom da vida e por todas as bênçãos que Ele sempre derramou sobre minha vida, Deus é tão bom para mim.

Aos meus pais, Herbert e Joana D'arc, às minhas irmãs Aline e Aluska, ao meu irmão Herbert Filho e a minha querida Avó Antônia (*in memorian*), por todas as contribuições dadas durante minha formação pessoal e profissional, agradeço de forma especial à minha irmã Aluska por toda a ajuda prestada durante a execução deste trabalho. Aos meus filhos, Pedro Eduardo M. Guimarães Carneiro e Lis A. Guimarães Carneiro por serem minha maior motivação de viver e de buscar ser uma pessoa melhor a cada dia.

A todos os Professores e Professoras do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral – PPGEMinas da UFPE, em especial aos Professores Áureo Machado, Eldemar Menor, Júlio César de Souza, Márcio Barros, e às Professoras Lucila Borges e Kênia Correia por todo o conhecimento compartilhado durante a realização das disciplinas as quais eu cursei. Agradeço novamente ao Professor Júlio César de Souza, por toda atenção dedicada, por sua humildade com todos e por estar sempre disposto a nos ajudar.

Às secretárias do PPGEMinas Edna Santos e Nadjá Neves por toda atenção e ajuda.

Aos colegas e amigos do PPGEMinas da UFPE, por todos conhecimentos e momentos compartilhados. Aos amigos e compadres Emanuel Itaquê Moreira e Elibe Silva Souza, por toda amizade, pela acolhida e por terem sido minha família durante a minha estadia em Recife-PE.

Ao Professor Djair Melo por coorientar este trabalho, pelas contribuições de extrema relevância no planejamento e execução do mesmo e pela amizade dispensada. Ao Professor Joab Nascimento pelas contribuições fundamentais para realização do presente trabalho e por sua amizade. Ao Professor José Lucínio Freire e à Professora Jeane Araújo por todo suporte técnico e orientações passadas ao longo do planejamento e execução do experimento realizado. Ao amigo Professor Marconi Pires pelo auxílio prestado na execução deste trabalho. Ao amigo Defsson Douglas por toda ajuda e amizade que foram fundamentais em todas as etapas da execução deste trabalho.

Por fim agradeço às amigas Andreza da Costa e Rita Amarante por toda ajuda, companheirismo e dedicação a este projeto, vocês foram fundamentais, e aqui representam todos os alunos e alunas do Curso Superior em Agroecologia e o do Curso Técnico em Mineração que me ajudaram na realização deste trabalho, a todos vocês sou muito grato.

RESUMO

A Mineração é uma atividade fundamental ao desenvolvimento econômico, tecnológico e social, e essencial à manutenção do nível de qualidade de vida da sociedade atual. Portanto, torna-se imprescindível a compatibilização dessa atividade, com as questões de preservação e gestão eficiente do meio ambiente e seus recursos, visando equacionar o desenvolvimento das atividades econômicas atuais e a manutenção da qualidade ambiental. Neste trabalho, objetivou-se realizar o aproveitamento de rejeitos do beneficiamento de minérios gerados por duas empresas de mineração, situadas no município de Pedra Lavrada – PB, Seridó Paraibano, na produção de mudas de *Moringa oleífera* Lam. O experimento consistiu no cultivo dessas mudas, em delineamento experimental inteiramente casualizado, executado em casa de vegetação, com 10 (dez) tratamentos, compostos por: solo, matéria orgânica (esterco bovino) e rejeitos do beneficiamento de mica e de pegmatito, com 5 (cinco) concentrações (0; 25; 50; 75 e 100%) para cada um dos rejeitos, com 4 (quatro) repetições por tratamento e 5 (cinco) plantas por repetição, totalizando 200 (duzentas) plantas. Após 60 dias do plantio foram coletados os seguintes parâmetros morfológicos da planta: Altura da Planta (AP), Diâmetro do Coleto (DC), Número de Folhas (NF), Massa da Matéria Fresca da Parte Aérea (MMFPA), Massa da Matéria Fresca da Raiz (MMFR) e Massa da Matéria Fresca das Folhas (MMFF), em seguida as partes das plantas foram secas em estufa a 65° C por 72 horas, posteriormente foram medidas a Massa da Matéria Seca da Parte Aérea (MMSPA), Massa da Matéria Seca da Raiz (MMSR) e Massa da Matéria Seca das Folhas (MMSF) e calculadas a Área foliar (AF), o Teor de Água nas Folhas (TAF) e o Índice de Qualidade de Dickson (IQD). Observou-se que a utilização dos rejeitos, influenciou positivamente, até determinadas concentrações, as variáveis: AP, DC, MMFR, MMSPA, MMSF e AF, para quais verificou-se efeito significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$), com exceção da variável MMFR que apresentou efeito significativo ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0,05$). As variáveis, MMSR e IQD, foram afetadas positivamente, ajustando-se significativamente ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$), por meio do modelo de regressão linear crescente. A MMSR apresentou um aumento de 70,13% e de 109,64%, respectivamente, para os tratamentos compostos por rejeitos de mica e de pegmatito, ambos na concentração 100%, em comparação às concentrações de 0% (controle). O IQD apresentou aumento de 49,17% e 78,26%, entre as maiores e as menores concentrações dos tratamentos compostos por rejeitos de mica e de pegmatito, respectivamente. Os valores estimados do IQD foram de 0,54; 0,61; 0,68; 0,74 e 0,81, para os tratamentos compostos por rejeitos mica e 0,48; 0,57; 0,66; 0,76 e

0,85 para os tratamentos compostos por rejeitos de pegmatito, nas concentrações 0; 25; 50; 75 e 100%, respectivamente. O aproveitamento dos referidos rejeitos no cultivo de mudas de Moringa proporcionou a obtenção de mudas de qualidade, dessa forma, tal aproveitamento apresentou-se como uma ação possível de gerenciamento dos resíduos sólidos, podendo ser aplicada como alternativa para uma destinação final ambientalmente adequada.

Palavras-chave: mineração e meio ambiente; gestão ambiental; resíduos sólidos; produção de mudas; impacto ambiental na mineração.

ABSTRACT

Mining is a fundamental activity for economic, technological and social development, and essential to maintaining the quality of life level of today's society. Therefore, it is essential to reconcile this activity, with the issues of preservation and efficient management of the environment and its resources, aiming to equate the development of current economic activities and the maintenance of environmental quality. In this work, the objective was to make use of tailings from the ore processing generated by two mining companies, located in the municipality of Pedra Lavrada - PB, Seridó from Paraíba, in the production of seedlings of *Moringa oleifera* Lam. The experiment consisted of the cultivation of these seedlings, in a completely randomized experimental design, executed in a greenhouse, with 10 (ten) treatments, composed of: soil, organic matter (bovine manure) and mica and pegmatite processing waste, with 5 (five) concentrations (0; 25; 50; 75 and 100%) for each of the tailings, with 4 (four) repetitions per treatment and 5 (five) plants per repetition, totaling 200 (two hundred) plants. After 60 days of planting, the following plant morphological parameters were collected: Plant Height (AP), Collar Diameter (DC), Number of Leaves (NF), Mass of Fresh Matter of the Aerial Part (MMFPA), Mass of Fresh Matter Root (MMFR) and Fresh Leaf Matter Mass (MMFF), then the plant parts were dried in an oven at 65 ° C for 72 hours, afterwards the Mass of Dry Matter of the Aerial Part (MMSPA), Mass Root Dry Matter (MMSR) and Dry Leaf Matter Mass (MMSF) and calculated the Leaf Area (AF), the Water Content in the Leaves (TAF) and the Dickson Quality Index (IQD). It was observed that the use of tailings, positively influenced, up to certain concentrations, the variables: AP, DC, MMFR, MMSPA, MMSF and AF, for which there was a significant effect at the level of 1% probability ($p < 0,01$), with the exception of the MMFR variable, which had a significant effect at the level of 5% probability ($p < 0.05$). The variables, MMSR and IQD, were positively affected, adjusting significantly to the level of 1% probability ($p < 0.01$), using the increasing linear regression model. The MMSR showed an increase of 70.13% and 109.64%, respectively, for treatments composed of mica and pegmatite tailings, both at 100% concentration, compared to concentrations of 0% (control). The IQD showed an increase of 49.17% and 78.26%, among the highest and lowest concentrations of treatments composed of mica and pegmatite tailings, respectively. The estimated IQD values were 0.54; 0.61; 0.68; 0.74 and 0.81, for treatments composed of mica tailings and 0.48; 0.57; 0.66; 0.76 and 0.85 for treatments composed of pegmatite tailings, at concentrations 0; 25; 50; 75 and 100%, respectively. The use of said tailings in the cultivation of *Moringa* seedlings provided the

achievement of quality seedlings, thus, this use was presented as a possible action for the management of solid waste, and can be applied as an alternative for an environmentally appropriate final destination.

Keywords: mining and environment; environmental management; solid wastes; seedling production; environmental impact on mining.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 –	Zoneamento interno de pegmatito heterogêneo	40
Figura 2 –	Cristais de quartzo (hialino)	41
Figura 3 –	Feldspato (ortoclásio)	44
Figura 4 –	Mica (muscovita/moscovita)	48
Figura 5 –	Moringa adulta com destaque para suas diferentes partes	52
Figura 6 –	Mapa de localização do município de Pedra Lavrada no estado da Paraíba	59
Figura 7 –	Acesso ao município de Pedra Lavrada/PB	59
Figura 8 –	Mapa geológico	60
Figura 9 –	Local de coleta do solo	68
Figura 10 –	Resultados dos ensaios de fertilidade, micronutrientes e análise granulométrica	69
Figura 11 –	Local de coleta da matéria orgânica	70
Figura 12 –	Localização da Empresa A	70
Figura 13 –	Áreas de estocagem de rejeitos do beneficiamento da mica	71
Figura 14 –	Localização da Empresa B	72
Figura 15 –	Áreas de estocagem de rejeitos do beneficiamento de pegmatito	72
Figura 16 –	Homogeneização e quarteamento	74
Figura 17 –	Quarteamento utilizando o quarteador tipo Jones	74
Figura 18 –	Etapas de homogeneização e quarteamento dos tratamentos	77
Figura 19 –	Localização do IFPB (Campus Picuí) e do seu setor de produção vegetal	78
Figura 20 –	Localização e acesso de Picuí/PB	79
Figura 21 –	Etapa de semeadura	80
Figura 22 –	Manejo hídrico	81
Figura 23 –	Medição da altura da planta e do diâmetro do coleto	83
Figura 24 –	Planta removida do tubete	83
Figura 25 –	Parte aérea e raiz da planta	84
Figura 26 –	Folhas da planta	84
Figura 27 –	Discos cortados das folhas	85
Figura 28 –	Efeito das concentrações de rejeitos de mica e pegmatitos presentes nos tratamentos aplicados no experimento na Altura das Plantas	92

Figura 29 –	Efeito das concentrações de rejeitos de mica e pegmatitos presentes nos tratamentos aplicados no experimento no Diâmetro do Coleto	94
Figura 30 –	Efeito das concentrações de rejeitos de mica e de pegmatitos presentes nos tratamentos aplicados no experimento no Número de Folhas	95
Figura 31 –	Efeito das concentrações de rejeitos de mica e de pegmatitos presentes nos tratamentos aplicados no experimento na Massa da Matéria Fresca da Parte Aérea	97
Figura 32 –	Efeito das concentrações de rejeitos de mica e de pegmatitos presentes nos tratamentos aplicados no experimento na Massa da Matéria Fresca da Raiz	99
Figura 33 –	Efeito das concentrações de rejeitos de mica e de pegmatitos presentes nos tratamentos aplicados no experimento na Massa da Matéria Fresca das Folhas	100
Figura 34 –	Efeito das concentrações de rejeitos de mica e de pegmatitos presentes nos tratamentos aplicados no experimento na Massa da Matéria Seca da Parte Aérea	102
Figura 35 –	Efeito das concentrações de rejeitos de mica e de pegmatitos presentes nos tratamentos aplicados no experimento na Massa da Matéria Seca da Raiz	104
Figura 36 –	Efeito das concentrações de rejeitos de mica e de pegmatitos presentes nos tratamentos aplicados no experimento na Massa da Matéria Seca das Folhas	105
Figura 37 –	Efeito das concentrações de rejeitos de mica e de pegmatitos presentes nos tratamentos aplicados no experimento na Área Foliar	107
Figura 38 –	Efeito das concentrações de rejeitos de mica e de pegmatitos presentes nos tratamentos aplicados no experimento no Teor de Água nas Folhas	108
Figura 39 –	Efeito das concentrações de rejeitos de mica e de pegmatitos presentes nos tratamentos aplicados no experimento no Índice de Qualidade de Dickson	109
Figura 40 –	Distribuição granulométrica das amostras dos tratamentos compostos por rejeitos do beneficiamento da mica	111
Figura 41 –	Triângulo de classificação textural de solos	113
Figura 42 –	Distribuição granulométrica das amostras dos tratamentos compostos	114

	por rejeitos do beneficiamento do pegmatito	
Figura 43 –	Difratograma da amostra de rejeito de beneficiamento de mica	120
Figura 44 –	Difratograma da amostra de rejeito de beneficiamento de pegmatito	121
Figura 45 –	Distribuição granulométrica da amostra dos rejeitos do beneficiamento da mica	123
Figura 46 –	Distribuição granulométrica da amostra de rejeito de beneficiamento de pegmatito	124

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Indicação dos percentuais de feldspato utilizado por produto	46
Tabela 2 –	Componentes e suas concentrações aplicadas nos tratamentos do experimento	75
Tabela 3 –	Volumes dos componentes utilizados no preparo dos tratamentos	76
Tabela 4 –	Identificação da amostra e caracterização solicitada	88
Tabela 5 –	Percentual de partículas retidas dos tratamentos T.01 a T.05 por faixas granulométricas	112
Tabela 6 –	Percentual de partículas retidas dos tratamentos T.06 a T.10 por faixas granulométricas	114
Tabela 7 –	Composição química da amostra dos rejeitos de beneficiamento de mica	116
Tabela 8 –	Resultados da análise química da amostra (global) de rejeitos do beneficiamento de mica	117
Tabela 9 –	Composição química da amostra dos rejeitos de beneficiamento de pegmatito	119

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	18
1.1	JUSTIFICATIVA	19
1.2	OBJETIVOS	20
1.2.1	Objetivo Geral	20
1.2.2	Objetivos Específicos	20
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	22
2.1	CONCEITOS GERAIS RELACIONADOS À MINERAÇÃO	22
2.1.1	Mineração	22
2.1.2	Mineral	23
2.1.3	Rocha	23
2.1.4	Minério	24
2.1.5	Estéril	25
2.1.6	Minerais-Minério	25
2.1.7	Minerais de Ganga	26
2.1.8	Concentrado	26
2.1.9	Rejeito	27
2.1.10	Minerais Industriais	27
2.1.11	Usinas de Beneficiamento / Tratamento de Minérios	28
2.2	MINERAÇÃO E MEIO AMBIENTE	29
2.2.1	Impactos Ambientais	32
2.3	RESÍDUOS SÓLIDOS DA MINERAÇÃO	34
2.4	PEGMATITOS	38
2.4.1	Classificação dos Pegmatitos	39
2.5	QUARTZO	40
2.5.1	Usos	42
2.6	FELDSPATO	43
2.6.1	Usos	45
2.7	MICA	46
2.7.1	Usos	49
2.7.1.1	Muscovita Folha	49
2.7.1.2	Muscovita Moída a Úmido	50
2.8	MORINGA (<i>MORINGA OLEÍFERA</i> LAM)	51

2.8.1	Usos e Aplicações da Moringa	53
2.8.2	Importância da Moringa para o Semiárido	53
2.9	SUBSTRATO E QUALIDADE DAS MUDAS	54
2.10	PARÂMETROS MORFOLÓGICOS E QUALIDADE DAS MUDAS	57
3	CARACTERIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE PEDRA LAVRADA – PB	58
3.1	BREVE HISTÓRICO DO MUNICÍPIO DE PEDRA LAVRADA – PB	58
3.2	LOCALIZAÇÃO E ACESSO	58
3.3	MEIO FÍSICO	60
3.3.1	Geologia Local	60
3.3.2	Solo	61
3.3.3	Clima	63
3.3.4	Relevo e Hidrografia	63
3.4	MEIO BIÓTICO	64
3.4.1	Flora	64
3.4.2	Fauna	64
3.5	MEIO ANTRÓPICO	65
3.5.1	Aspectos Socioeconômicos	65
4	MATERIAL E MÉTODOS	67
4.1	COLETA E PENEIRAMENTO DOS COMPONENTES UTILIZADOS NA COMPOSIÇÃO DOS SUBSTRATOS	68
4.1.1	Coleta e Peneiramento do Solo	68
4.1.2	Coleta e Peneiramento da Matéria Orgânica	69
4.1.3	Coleta e Peneiramento do Rejeito do Beneficiamento da Mica	70
4.1.4	Coleta e Peneiramento do Rejeito do Beneficiamento do Pegmatito	71
4.2	HOMOGENEIZAÇÃO E QUARTEAMENTO DOS COMPONENTES UTILIZADOS NOS SUBSTRATOS	73
4.3	PREPARO DOS TRATAMENTOS UTILIZADOS NO EXPERIMENTO	75
4.4	SELEÇÃO DAS SEMENTES UTILIZADAS NO EXPERIMENTO	77
4.5	INSTALAÇÃO DO EXPERIMENTO	78
4.5.1	Enchimento dos Tubetes	79
4.5.2	Semeadura	79
4.6	CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO	80

4.6.1	Manejo Hídrico	80
4.6.2	Acompanhamento da Emergência das Plântulas	81
4.6.3	Desbaste	81
4.6.4	Mudança de Posição das Bandejas	82
4.7	COLETA DOS DADOS DOS PARÂMETROS MORFOLÓGICOS DAS PLANTAS E CÁLCULO DAS VARIÁVEIS ANALISADAS NO EXPERIMENTO	82
4.8	ANÁLISE DOS COMPONENTES DOS SUBSTRATOS	87
4.8.1	Análise Química e Mineralógica dos Rejeitos de Beneficiamento de Mica e Pegmatito	87
4.8.1.1	Análise Química por Fluorescência de Raios X (EDX) dos Rejeitos de Beneficiamento de Mica e de Pegmatito	88
4.8.1.2	Análise Mineralógica por Difração de Raios X dos Rejeitos de Beneficiamento de Mica e de Pegmatito	89
4.8.2	Análise Granulométrica dos Tratamentos Avaliados no Experimento	89
4.9	ANÁLISE ESTATÍSTICA DAS VARIÁVEIS DO EXPERIMENTO	90
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	91
5.1	ANÁLISE ESTATÍSTICA DAS VARIÁVEIS AVALIADAS NO EXPERIMENTO	91
5.1.1	Altura da Planta (AP)	92
5.1.2	Diâmetro do Coleto (DC)	93
5.1.3	Número de Folhas (NF)	95
5.1.4	Massa da Matéria Fresca da Parte Aérea (MMFPA)	96
5.1.5	Massa da Matéria Fresca da Raiz (MMFR)	98
5.1.6	Massa da Matéria Fresca das Folhas (MMFF)	100
5.1.7	Massa da Matéria Seca da Parte Aérea (MMSPA)	102
5.1.8	Massa da Matéria Seca da Raiz (MMSR)	103
5.1.9	Massa da Matéria Seca das Folhas (MMSF)	105
5.1.10	Área Foliar (AF)	106
5.1.11	Teor de Água nas Folhas (TAF)	108
5.1.12	Índice de Qualidade de Dickson (IQD)	109
5.2	ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DAS AMOSTRAS DOS TRATAMENTOS AVALIADOS NO EXPERIMENTO	110

5.2.1	Análise Granulométrica das Amostras dos Tratamentos Compostos por Rejeitos do Beneficiamento da Mica	111
5.2.2	Análise Granulométrica das Amostras dos Tratamentos Compostos por Rejeitos do Beneficiamento do Pegmatito	113
5.3	CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DOS REJEITOS DO BENEFICIAMENTO DE MICA E DE PEGMATITO	115
5.3.1	Análise Química por Fluorescência de Raios X (EDX) dos Rejeitos do Beneficiamento de Mica e de Pegmatito	116
5.3.2	Análise Mineralógica por Difração de Raios X (DRX) dos Rejeitos do Beneficiamento de Mica e de Pegmatito	120
5.3.3	Análise Granulométrica dos Rejeitos do Beneficiamento de Mica e de Pegmatito	123
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	126
	REFERÊNCIAS	129

1 INTRODUÇÃO

A Mineração tem fundamental importância na evolução social, econômica e tecnológica da humanidade, sendo a prática da mesma tão antiga quanto à própria civilização humana. Além de toda a importância histórica da mineração para a evolução da humanidade, influenciando ao longo do tempo diversas civilizações em todas as partes do mundo, podemos afirmar que sem a mineração não teríamos atingido o atual grau de desenvolvimento tecnológico e o nível de qualidade de vida que temos hoje.

No Brasil a mineração também teve um importante papel histórico, desde a sua colonização, onde contribuiu de forma preponderante no processo de ocupação territorial do país. Ademais, o Brasil destaca-se com relação ao setor mineral em nível mundial, devido à sua vasta geodiversidade, e por ser um dos maiores produtores de bens minerais do mundo, produzindo cerca de 80 (oitenta) diferentes substâncias minerais, com destaque em nível mundial na produção de algumas substâncias minerais, sendo o maior produtor mundial de Nióbio e o 2º maior produtor de minério de Ferro do mundo, ficando atrás apenas da China.

Segundo o Instituto Brasileiro de Mineração – IBRAM (2020), a produção mineral do Brasil foi de US\$ 38 bilhões, US\$ 32,5 bilhões de exportações minerais e US\$ 24,3 bilhões de saldo na balança comercial mineral, no ano de 2019, sendo responsável por uma participação de 4,0% no Produto Interno Bruto – PIB do país no mesmo ano. Ainda segundo o IBRAM, no ano de 2019, estoque final de trabalhadores diretos na Mineração foi de 199.027 trabalhadores, gerando mais de 2.000.000 de empregos indiretos ao longo de toda cadeia produtiva relacionada à indústria mineral e investimentos da ordem de US\$ 27,5 bilhões no setor para o período de 2019-2023.

Corroborando Farias (2002), ao afirmar que a Mineração é um dos setores básicos da economia do país, contribuindo de forma decisiva para o bem estar e a melhoria da qualidade de vida das presentes e futuras gerações, sendo fundamental para o desenvolvimento de uma sociedade equânime, desde que seja operada com responsabilidade social, estando sempre presentes os preceitos do desenvolvimento sustentável.

Entretanto, mesmo com toda a importância que a mineração possui para o atual desenvolvimento tecnológico, econômico e social, ela é vista como uma das atividades mais impactantes ao meio ambiente, haja vista os diversos impactos ambientais negativos que gera. No que tange aos impactos ambientais negativos, tem-se: degradação visual da paisagem, supressão vegetal, degradação do solo, do relevo, geração de um grande volume de resíduos sólidos, favorecimento da erosão e assoreamento de corpos hídricos superficiais, alterações na

qualidade da água e do ar, geração de material particulado, de ruídos e vibrações, transtornos gerados às populações que habitam o entorno dos projetos minerários e danos à saúde das pessoas diretamente envolvidas no empreendimento.

Consequentemente, apresenta-se como um desafio ao conceito de desenvolvimento sustentável, uma vez que a atividade minerária retira da natureza recursos naturais exauríveis. Assim sendo, torna-se essencial a compatibilização dessa atividade, com as questões de preservação e gestão eficiente do meio ambiente e seus recursos, a fim de equacionarmos o desenvolvimento das atividades econômicas atuais e a questão da manutenção da qualidade ambiental para as presentes e futuras gerações.

Diante de tais aspectos, verifica-se a necessidade de meios alternativos que possibilitem a reciclagem de resíduos, permitindo desta forma a minimização dos descartes e o aproveitamento dos resíduos como insumo de novos produtos, visando à economia de matérias-primas não renováveis, a diminuição da emissão de poluentes, melhoria nas condições de saúde, segurança e moradia da população. (CAMPOS, 2008). Dessa forma, torna-se cada vez mais necessário o desenvolvimento de estudos que visem à eliminação, quando possível, mitigação e/ou compensação dos impactos ambientais gerados.

No caso específico deste trabalho, realizou-se um estudo sobre o aproveitamento dos rejeitos do beneficiamento de mica e de pegmatitos, gerados por duas empresas de mineração situadas no município de Pedra Lavrada – PB, na região do Seridó Paraibano, utilizando-os na composição de substratos no cultivo de mudas de Moringa. Desta forma, no presente trabalho, iremos avaliar a possibilidade da aplicação dos referidos rejeitos no preparo de substratos que possuam propriedades físicas, químicas e mineralógicas adequadas para o cultivo de mudas de Moringa.

1.1 JUSTIFICATIVA

A atividade de mineração desenvolvida na Província Pegmatítica da Borborema, na região que engloba municípios do Estado da Paraíba e do Rio Grande do Norte, também conhecida como “Província do Seridó-Borborema”, é um importante fornecedor de matérias-primas minerais, sobretudo, de minerais industriais, para diversas indústrias brasileiras e do exterior.

Na referida região, estão localizados importantes depósitos de rochas pegmatíticas, com elevadas quantidades de quartzo, feldspato, mica (muscovita) e caulim, além de outros

importantes minerais e gemas que podem ocorrer associados aos minerais citados, constituindo os pegmatitos.

Entretanto, apesar da importância econômica dessa atividade para os municípios da região, o beneficiamento da rocha pegmatítica produz um grande volume de rejeitos, que são destinados de forma inadequada no meio ambiente, causando impactos ambientais negativos. Neste contexto, surge a necessidade de buscar alternativas para o aproveitamento desses resíduos sólidos, visando minimizar os impactos ambientais negativos dessa atividade na região do Seridó.

Desse modo, se propôs o aproveitamento dos rejeitos do beneficiamento, gerados por duas empresas de mineração, denominadas Empresa A e Empresa B, situadas no município de Pedra Lavrada – PB, na região do Seridó Paraibano, na composição de substratos a serem utilizados no cultivo de mudas, com o intuito de tornar a atividade ambientalmente e economicamente mais sustentável.

1.2 OBJETIVOS

Nesta seção serão apresentados o Objetivo Geral e os Objetivos Específicos nas subseções 1.2.1 e 1.2.2, respectivamente.

1.2.1 Objetivo Geral

O presente trabalho tem como objetivo geral avaliar o aproveitamento dos rejeitos do beneficiamento de mica e de pegmatitos, gerados pelas empresas de mineração A e B, respectivamente, situadas no município de Pedra Lavrada – PB, na composição de substratos utilizados no cultivo de mudas de *Moringa oleífera* Lam, verificando a possibilidade da aplicação desses rejeitos na produção de mudas de qualidade.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Executar a amostragem dos rejeitos de beneficiamento de mica e de pegmatitos nas pilhas de rejeitos das empresas de mineração A e B, respectivamente, para a obtenção de amostra representativa desses rejeitos, de modo que esta amostragem apresente uma variabilidade estatisticamente aceitável quanto às propriedades: teor dos diversos elementos

químicos presentes na amostra, constituintes mineralógicos, distribuição granulométrica, entre outras propriedades, para realização de ensaios específicos posteriores;

- Caracterizar as amostras de rejeitos de Mica e Pegmatitos, previamente obtidas com a amostragem realizada nas pilhas de rejeitos das empresas A e B, através da análise química (qualitativa e quantitativa), mineralógica e granulométrica das amostras, por meio das técnicas Fluorescência de Raios-X, Difração de Raios e X (DRX) e ensaio de peneiramento, visando à determinação da composição química, dos constituintes mineralógicos (fases mineralógicas) e distribuição granulométrica das amostras analisadas, respectivamente;

- Cultivar mudas de *Moringa oleífera* Lam utilizando rejeitos do beneficiamento de mica e de pegmatitos e avaliar os parâmetros morfológicos das mesmas, a saber: Altura da Planta (AP), Diâmetro do Coleto (DC), Número de Folhas (NF), Massa da Matéria Fresca da Parte Aérea (MMFPA), Massa da Matéria Fresca da Raiz (MMFR), Massa da Matéria Fresca das Folhas (MMFF), Massa da Matéria Seca da Parte Aérea (MMSPA), Massa da Matéria Seca da Raiz (MMSR), Massa da Matéria Seca das Folhas (MMSF), Área Foliar (AF), Teor de Água nas Folhas (TAF), Índice de Qualidade de Dickson (IQD), visando estimar os efeitos da aplicação desses rejeitos sobre os parâmetros avaliados e determinar a qualidade das mudas produzidas.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nas subseções a seguir serão apresentados os principais Conceitos Gerais relacionados à Mineração, os aspectos relacionados à Mineração e o Meio Ambiente, Resíduos Sólidos da Mineração, uma revisão sobre Pegmatitos e seus principais minerais constituintes: Quartzo, Feldspato e Mica (Muscovita), além de uma revisão sobre a Moringa, sobre Substratos, Parâmetros Morfológicos e Qualidade das Mudanças.

2.1 CONCEITOS GERAIS RELACIONADOS À MINERAÇÃO

A seguir, nas subseções 2.1.1 a 2.1.11 serão apresentados os principais Conceitos Gerais relacionados à Mineração, são eles: Mineração, Mineral, Rocha, Minério, Estéril, Minerais-Minério, Minerais de Ganga, Concentrado, Rejeito, Minerais Industriais e Usinas de Beneficiamento/Tratamento de Minérios, tais conceitos são apresentados com o intuito de familiarizar e facilitar a compreensão dos leitores de outras áreas do conhecimento com as terminologias relacionadas à Mineração que têm relação direta com o presente trabalho.

2.1.1 Mineração

Segundo Curi (2017), a mineração trata-se de uma atividade de natureza fundamentalmente econômica que também é referida em um sentido *lato*, como indústria extrativa mineral. Sendo essa uma atividade tipicamente do setor primário, que gera matéria-prima para o setor industrial ou secundário. De um modo mais específico, pode-se também definir a mineração como o conjunto de operações unitárias para a extração de minerais existentes na crosta terrestre.

Conforme o artigo 5º do Decreto nº 9.406, de 12 de junho de 2018, a atividade de mineração abrange a pesquisa, a lavra, o desenvolvimento da mina, o beneficiamento, a comercialização dos minérios, o aproveitamento de rejeitos e estéreis e o fechamento da mina. (BRASIL, 2018).

Ademais, segundo a classificação internacional adotada pela Organização das Nações Unidas – ONU, define-se mineração como sendo a extração, elaboração e beneficiamento de minerais que se encontram em estado natural: sólido, como o carvão e outros; líquido, como o petróleo bruto; e gasoso, como o gás natural.

2.1.2 Mineral

Segundo Teixeira et al. (2009), minerais são elementos ou compostos químicos com composição definida dentro de certos limites, cristalizados e formados naturalmente por meio de processos geológicos inorgânicos, na Terra ou em corpos extraterrestres.

Adicionalmente, os preditos autores, afirmam que a composição química e as propriedades cristalográficas bem definidas do mineral fazem com que ele seja único dentro do reino mineral e, assim, receba um nome característico.

Neste sentido, parafraseando Menezes (2012), temos que: substância mineral, também chamada de espécie mineral, ou simplesmente mineral, é um sólido que ocorre naturalmente na crosta terrestre, formado por meio de processos geológicos, que possui composição química e propriedades físicas bem definidas, que recebe um nome mineralógico único. Assim, um mineral pode ser definido com base em sua composição química e suas propriedades cristalográficas.

Ademais, parafraseando Curi (2014), as substâncias minerais podem ser classificadas em metálicas (que possuem um metal em sua composição química) e não metálicas (minerais e rochas industriais e minerais e rochas combustíveis).

2.1.3 Rocha

Press et al. (2006) definem rocha como um agregado sólido de minerais que ocorre naturalmente. Os autores afirmam que rochas, como o mármore branco, são compostas por apenas um mineral, nesse caso, a calcita, e que certas rochas são compostas por matéria não-mineral, onde se incluem materiais não cristalinos, rochas vulcânicas vítreas, obsidiana, pedra-pomes e carvão, que são restos de plantas compactados.

Ainda segundo os mesmos autores, em um agregado, os minerais são unidos de maneira a manter suas características individuais. Por sua vez, para Branco (2015) rocha é uma associação natural de minerais (geralmente dois ou mais), em proporções definidas e que ocorre em uma extensão considerável.

Para o referido autor, algumas rochas são constituídas por um único mineral, mas são consideradas rocha e não mineral porque ocorrem em grandes volumes, formando, por exemplo, um morro inteiro ou camadas que podem se estender por dezenas de quilômetros. Essas rochas são chamadas de monominerálicas e como exemplos tem-se o calcário (formado de calcita) e o quartzito (formado de quartzo).

Teixeira et al. (2009), afirmam que rocha é o termo usado para descrever uma associação de minerais que por diferentes motivos geológicos, acabam ficando intimamente unidos, e que embora coesa e, muitas vezes, dura, a rocha não é homogênea, pois ela não possui a continuidade física de um mineral e, portanto, pode ser subdividida em todos os seus minerais constituintes.

Ademais, de acordo com Branco (2015), as rochas podem ser agrupadas em três grandes grupos, conforme o processo de formação: ígneas, metamórficas ou sedimentares. As rochas sedimentares constituem apenas 5% da crosta terrestre, os restantes 95% são de rochas ígneas ou metamórficas.

2.1.4 Minério

Parafraseando Winge (2001), minério pode ser definido como, mineral ou rocha de interesse econômico ou, ainda, rocha contendo um ou mais minerais de interesse econômico suscetíveis de serem extraídos e processados economicamente. Assim sendo, segundo o autor supracitado, o minério pode ser classificado em primário ou secundário, conforme o seguinte:

a) primário – se os minerais de minério formaram-se junto com a própria rocha mineralizada;

b) secundário – se os minerais de minério correspondem a um enriquecimento por processos de alteração, infiltração e/ou cimentação (oxidação, sulfetação, carbonatação...) da rocha mineralizada.

Luz e Lins (2010) conceituam minério como sendo toda rocha constituída de um mineral ou agregado de minerais contendo um ou mais minerais valiosos, que podem ser aproveitados economicamente.

Para Curi (2017), os minérios são constituídos por um ou mais minerais ou rochas que, sob condições favoráveis, podem ser beneficiados comercialmente, possibilitando a extração de um ou mais metais ou não metais.

De acordo com a definição publicada no site da Vale em 2018, minério é um agregado de minerais rico em um determinado mineral ou elemento químico que é economicamente e tecnologicamente viável para extração (mineração).

A mesma publicação cita que o cobre, por exemplo, acontece naturalmente em alguns tipos de rochas, mas só é possível tornar-se um minério quando se concentra em quantidades elevadas e é possível de ser extraído da natureza.

Contudo, há ainda alguns autores que definem o termo minério de maneira mais restritiva, como, por exemplo, na definição proposta pelo Centro de Informação Metal Mecânica – CIMM, na qual informa que minério é um mineral do qual se pode extrair um metal, para fins comerciais, podendo o metal estar presente no minério como metal nativo, mas geralmente ocorre em uma forma combinada como um óxido, sulfeto, sulfato, silicato, etc.

2.1.5 Estéril

Conforme Curi (2017), estéril é a rocha ou solo sem valor econômico extraído na operação de lavra e que ocorre dentro ou fora do corpo de minério. O mesmo autor, dessa vez em 2014, afirma que o estéril produzido pela mina é geralmente um material desprovido de valor econômico, que deve ser cuidadosamente empilhado e estabilizado em locais apropriados.

Ademais, Winge (2001) define estéril como porção de uma jazida mineral, (ocorrência de minério em quantidade, teor e características físico-químicas (reservas) que, junto com condições suficientes de infraestrutura e localização, permitem a sua exploração econômica), que não apresenta minério ou cujo teor de minerais ou elementos úteis esteja abaixo do teor de corte, (teor limite de minerais ou de elementos químicos úteis de um minério abaixo do qual a exploração mineral torna-se antieconômica), não podendo ser aproveitada como minério bruto ou na planta de tratamento ou concentração mineral.

2.1.6 Minerais-Minério

Parafraseando Luz e Lins (2010), minerais-minério, são minerais valiosos, aproveitáveis como bens úteis, contidos em uma rocha. Adicionalmente, os referidos autores (2018) definem minerais-minério, como minerais de importância econômica.

Segundo Curi (2014 e 2017), minerais-minérios são os minerais que podem ser economicamente aproveitados/tratados para a extração de um ou mais elementos químicos, geralmente metais, como exemplos de minerais-minério podemos citar a hematita, da qual se extrai o ferro, calcopirita, da qual se extrai o cobre, a bauxita, de onde se extrai o alumínio e a cassiterita, de onde se extrai o estanho.

Destarte, podemos definir minerais-minério como o mineral ou conjunto de minerais, presentes em uma rocha, que possuem valor econômico, sejam esses metálicos ou não metálicos.

2.1.7 Minerais de Ganga

Para Luz e Lins (2018), ganga ou minerais de ganga são os minerais que não apresentam importância econômica. Em outra publicação, os preditos autores (2010), definem ganga ou minerais de ganga como o mineral ou conjunto de minerais não aproveitados de um minério. Por sua vez, Curi (2017) afirma que minerais de ganga são os minerais presentes no minério que não podem ser aproveitados economicamente.

Adicionalmente, Winge, (2001), define que a ganga são minerais e/ou rochas sem interesse econômico que ocorrem associados com o minério, e que geralmente, a ganga é prejudicial à economicidade da lavra por diminuir o teor, dificultar a extração ou o beneficiamento do minério.

2.1.8 Concentrado

Parafraseando Luz e Lins (2018), concentrado é uma porção enriquecida que contém a maior parte dos minerais valiosos, obtidos por meio da separação física ou físico-química dos minerais valiosos (minerais minério) dos não valiosos (minerais de ganga).

De maneira simplificada pode-se definir concentrado, conforme proposto por Luz, Sampaio e França (2010), como o produto valioso de uma operação de beneficiamento.

O concentrado pode ser conceituado como o produto do beneficiamento de minérios/tratamento de minérios, mais especificamente da etapa de concentração mineral, com elevado teor de minerais valiosos (minerais-minério), cujas características granulométricas e mineralógicas, atendem as especificações do mercado.

De maneira geral, pode-se considerar o concentrado ou concentrado mineral, o produto final (de valor econômico) da mineração, resultante das operações unitárias do beneficiamento ou tratamento de minérios, cujas especificações com relação à granulometria, teor mínimo do mineral minério (mineral de interesse) e teores máximos dos minerais contaminantes (minerais de ganga indesejados à aplicação industrial), atendam às exigências do mercado.

Vale ressaltar que as especificações do concentrado variam de acordo com a sua aplicação industrial.

2.1.9 Rejeito

Curi (2017) define rejeito como materiais sem valor econômico oriundos do processo de tratamento de minérios. De modo oposto à definição de concentrado, rejeito pode ser definido como o produto sem valor de uma operação de beneficiamento.

Como exposto na definição supracitada, o conceito de rejeito é oposto ao de concentrado, desse modo, podemos conceituar rejeito como o produto do beneficiamento de minérios/tratamento de minérios, mais especificamente da etapa de concentração mineral, com baixo teor de minerais valiosos (minerais minério) e elevado teor de minerais não valiosos, portanto sem aproveitamento econômico imediato.

Em geral, esses rejeitos são depositados em pilhas ou barragens, em alguns casos de maneira inadequada, podendo causar efeitos danosos ao meio ambiente. Nesse contexto, vale ressaltar que são geradas grandes quantidades de rejeitos no beneficiamento de minérios.

Diante dessa problemática, é de extrema importância buscar alternativas ao aproveitamento de rejeitos, seja através da adoção de novas tecnologias de tratamento de minérios, que possibilitem a recuperação de minerais minérios que possam estar contidos no rejeito ou por meio do seu aproveitamento em outras aplicações, possibilitando uma diminuição dos impactos ambientais associados à destinação ou disposição inadequada desses resíduos.

2.1.10 Minerais Industriais

De acordo com Ciminelli (2007), a descrição clássica do termo minerais industriais incorpora nesta categoria todas as rochas e minerais, inclusive os sintéticos de origem mineral, predominantemente não metálicos.

Assim, por suas propriedades físicas ou químicas, e não pela energia gerada ou pelos metais extraídos, podem ser utilizados em processos industriais, de modo geral com múltiplas funções, com maior ou menor valor agregado, ou como aditivo diretamente lavrado, ou após beneficiamento e processamento.

Para Curi (2017), minerais industriais são aqueles usados diretamente como matéria-prima para a indústria. Emprega-se, nesse caso, o mineral *in natura*, e não somente um elemento químico extraído dele.

Segundo o Serviço Geológico do Brasil – CPRM (s.d.), as rochas e minerais industriais são matérias primas essenciais em diversos setores produtivos da indústria, sendo utilizadas: na indústria metalúrgica, na construção civil, em cerâmicas, na indústria química, de fertilizantes, entre outros.

Vale ressaltar que denominam-se matérias-primas minerais, as substâncias minerais em geral que são usadas na indústria.

2.1.11 Usinas de Beneficiamento / Tratamento de Minérios

São instalações industriais, constituídas de uma série de equipamentos responsáveis pela realização das operações unitárias de beneficiamento/tratamento de minérios, que em geral são:

- a) *cominuição/fragmentação* – britagem e moagem;
- b) *classificação granulométrica* – peneiramento e classificação;
- c) *concentração* – gravítica, separação em meio denso, magnética, eletrostática, flotação e/ou purificação; e
- d) *operações de separação sólido-líquido* – desaguamento, quando o processo se dá por via úmida, (sedimentação, filtração, centrifugação e secagem).

As quais são responsáveis pela transformação dos minérios brutos denominados de ROM (*Run of Mine*) extraídos nas minas, em matérias-primas com especificações adequadas às suas aplicações industriais.

Vale ressaltar que nem sempre as usinas de beneficiamento/tratamento de minérios irão apresentar todas as operações unitárias citadas anteriormente, em alguns casos apenas são realizadas as etapas de cominuição/fragmentação e classificação, para adequar granulometricamente o minério, como por exemplo, a britagem e o peneiramento de rochas para a produção de brita.

Nos casos específicos das usinas de beneficiamento das Empresas A e B nas quais foram coletados os rejeitos objetos de estudo do presente trabalho, as operações ocorrem a seco, não havendo a necessidade da realização das operações de desaguamento, assim como ocorre no caso da produção de brita.

As usinas de tratamento/beneficiamento de minérios geram como produtos, em geral, concentrados e rejeitos, que como definido anteriormente nos subtópicos 2.1.9 e 2.1.10, são os produtos valiosos e os produtos sem valor econômico oriundos do processo de tratamento de minérios, respectivamente.

Como dito anteriormente, geralmente, são gerados grandes volumes de rejeitos no tratamento de minérios, que são depositados em pilhas ou barragens, em alguns casos de maneira inadequada, podendo causar efeitos danosos ao meio ambiente.

Diante desse contexto, é de extrema importância, inicialmente, buscar a otimização as operações unitárias das usinas de tratamento de minérios visando reduzir a geração de rejeitos (que foge ao escopo do presente trabalho) e/ou desenvolver alternativas para o aproveitamento desses rejeitos em outras aplicações, visando diminuir os impactos ambientais associados à destinação ou disposição inadequada desses resíduos, objetivo do presente trabalho.

2.2 MINERAÇÃO E MEIO AMBIENTE

A extração mineral é importante para o desenvolvimento social e econômico. Assim sendo, pode-se afirmar que essa atividade é a base da formação da cadeia produtiva, do processo de transformação de minérios até os produtos industrializados e, na medida em que as cidades crescem, criam-se demandas por infraestrutura e serviços, o que induz a instalação de indústrias de transformação. (SILVA, 2010).

Segundo Pontes et al. (2012), ao longo do tempo, a extração de recursos minerais em nosso país constitui um rico exemplo de como a humanidade tem se “apoderado” das riquezas naturais para a construção de um novo cenário socioeconômico, pois: a mineração tem sido necessária para o desenvolvimento industrial do Brasil em seus mais diversos setores produtivos ao longo dos anos, e sempre foi um dos sustentáculos dos poderes econômico e político.

Neste sentido, corrobora Silva, Silva e Almeida (2008), a extração mineral sendo uma fonte de riqueza econômica, atualmente tem se expandido de forma rápida em todo o Brasil.

No que tange ao Estado da Paraíba, ela representa uma importante atividade socioeconômica, pois tanto fornece emprego e renda para milhares de mineradores, quanto gera para o Estado, muitos lucros a partir dos impostos atribuídos a comercialização dos mais diversos recursos minerais explorados em seu território.

Parafraseando Barreto (2001), sabe-se que a extração mineral é de extrema importância para o desenvolvimento socioeconômico, mas no que tange às questões ambientais, a mineração tem fomentado, em muitos casos, inúmeros impactos negativos, a saber: alteração do lençol de água subterrânea; poluição sonora, visual, da água, do ar e do solo; impactos sobre a fauna e a flora; assoreamento, erosão e mobilização da terra; instabilidade de taludes, encostas e terrenos em geral; e lançamentos de fragmentos de rochas e vibrações.

Em outras palavras, as atividades da economia mineral, compreendendo extração, beneficiamento e transformação de produtos minerais, são associadas a efeitos ambientais negativos, de maior ou menor grau, como poluição do ar e de rios, destruição da vegetação, ocupação desordenada do solo, consumo excessivo de energia, esgotamento de minas, etc. (REIS, 2003).

De acordo com o supracitado autor, no Brasil, um dos países produtores de matérias-primas, essas atividades também são relacionadas à forte dependência de mercados externos, exploração rápida ou predatória dos recursos e preços baixos, e em queda contínua, das matérias-primas básicas e dos produtos elaborados.

Esse meio natural – biótico e abiótico – proporciona ao ser humano uma diversidade muito grande de substâncias potencialmente utilizáveis em estado natural ou como matérias-primas para transformação em produtos.

Empregando-se trabalho, energia, instrumentos e técnicas apropriadas, essas substâncias (matérias-primas minerais, vegetais e animais) são transformadas em uma grande variedade de produtos criados para os mais diversos usos do ser humano. (GATTO, 2003).

Para Rodrigues (2004), tamanha é a importância do meio ambiente que alguns autores defendem a sua indisponibilidade. No caso da mineração, esta é tão indispensável ao ser humano quanto o próprio meio ambiente, pois não há progresso, habitação, saneamento básico, meios de transporte, comunicação sem mineração, sem falar ainda que com ela combate-se a fome com uso de fertilizantes na agricultura.

Diante do exposto, vale ressaltar que no decorrer dos anos, vários conceitos de meio ambiente foram surgindo, a exemplo desse conceito dado por José Afonso da Silva: meio ambiente é a interação do conjunto de elementos naturais, artificiais e culturais que propiciem o desenvolvimento equilibrado da vida em todas as suas formas. (NUNES, 2011).

Para o supracitado autor, o meio ambiente divide-se em artificial (espaço urbano), cultural (patrimônio histórico, artístico, arqueológico, paisagístico e turístico) e natural ou físico (constituído pela interação dos seres vivos com seus meios).

Todavia, embora existam diversos conceitos, há um conceito legal para meio ambiente previsto no art. 3º, I, da Lei nº 6.938 de 1981, qual seja: o conjunto de condições, leis, influências e interações de ordem física, química e biológica, que permite, abriga e rege a vida em todas as suas formas. (BRASIL, 1981).

No Brasil, “a proteção ao meio ambiente começou de forma tímida na década de 70, com a criação da Secretaria Especial de Meio Ambiente, uma espécie de embrião do então Ministério do Meio Ambiente”. (GRECO, 2005). Mas, na década de 80, ganhou força com a criação do Sistema Nacional do Meio Ambiente (Lei nº 6.938/81) e com a promulgação da Constituição Federal de 1988.

A Carta Magna instituiu ao meio ambiente o *status* de direito fundamental – essencial para dignidade da vida humana – e fixou as diretrizes de preservação e proteção dos recursos naturais, definindo-os como bens de uso comum do povo, conforme prevê em seu artigo 225:

Art. 225. Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para às presentes e futuras gerações. (BRASIL, 1988).

Assim sendo, é em virtude do conflito entre a necessária proteção ao direito fundamental ao meio ambiente ecologicamente equilibrado e o crescimento desenfreado das atividades econômicas que se valem das riquezas minerárias, que nasce para os órgãos fiscalizadores a obrigação de atuar em prol da defesa do desenvolvimento sustentável.

Neste sentido, Silva (2007) ressalva que a mineração é um dos setores básicos da economia do país, contribuindo de forma decisiva para o bem estar e a melhoria da qualidade de vida das presentes e futuras gerações, sendo fundamental para o desenvolvimento de uma sociedade equânime, desde que seja operada com responsabilidade social, e estando sempre presentes os preceitos do desenvolvimento sustentável.

Ademais, no que tange aos aspectos socioeconômicos, a mineração tem fomentado um bom cenário para a sociedade brasileira, uma vez que possibilita a criação de empregos e novas frentes de trabalho, a circulação e acumulação de riquezas, e incremento do comércio e serviços, assim como o fortalecimento do setor público através da arrecadação de impostos, etc.

Diante do exposto, é relevante lembrar que na mineração e nos demais segmentos do setor, a exemplo de qualquer outra atividade econômica, existem eventuais implicações negativas. Primeiramente, sabe-se que os recursos minerais são bens não renováveis e esgotáveis, portanto, tendem à escassez à medida que se desenvolve a sua exploração.

Por conseguinte, a mineração demanda vários procedimentos extrativos que causam impactos ambientais negativos, os quais podem e devem ser mitigados com novas formas/práticas de extração mineral.

Essas implicações negativas da mineração são reconhecidas por seus representantes, embora minimizadas, ao mesmo tempo em que estas enfatizam as medidas e os processos adotados para compensá-las ou anulá-las. Cada vez mais as empresas mineradoras têm adotado programas de preservação e recuperação ambiental nos locais de suas minas e unidades de beneficiamento. (REIS, 2003).

Por fim, vale ressaltar que a atual política de gestão dos recursos minerais vinculada ao conceito de sustentabilidade, fomentada nacionalmente nos últimos anos, exige tanto um planejamento estratégico consistente acerca da delimitação do espaço a ser explorado, quanto à implantação de um modelo de gestão integrada e participativa no que tange ao uso dos recursos minerais, a fim de promover o equilíbrio necessário para a manutenção do ecossistema afetado por esta atividade degradatória.

2.2.1 Impactos Ambientais

Segundo CONAMA (1986) impacto ambiental é qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetem a saúde, a segurança e o bem estar da população; as atividades sociais e econômicas; a fauna e a flora; as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; e a qualificação dos recursos ambientais.

Para Bitar e Ortega (1998), a definição de impacto ambiental está relacionada à alteração ou efeito ambiental considerado significativo por meio da avaliação do projeto de um determinado empreendimento, podendo ser negativo ou positivo.

É indiscutível que a mineração assume contornos de importância decisiva para o desenvolvimento, pois se observa que o minério extraído da natureza está em quase todos os produtos utilizados. (ASSIS et al., 2011).

Todavia, esta dependência ocasiona o surgimento de imensas áreas degradadas que, na maioria das vezes, ao final da exploração, não podem ser ocupadas racionalmente. (KOPEZINKI, 2000).

Parafraseando Mechi e Sanches (2010), várias vezes, os locais viáveis para a extração mineral são ambientalmente sensíveis e importantes para a preservação da biodiversidade, dos

recursos hídricos, da paisagem ou de demais recursos naturais com função ambiental de grande importância.

De acordo com Silva (2007), ao extraírem-se os bens minerais da crosta terrestre, automaticamente, gera-se uma alteração bastante profunda que modifica a estrutura física local. Essas alterações, advindas da atividade mineral, podem provocar maior ou menor impacto, conforme os fatores geográficos, o método de lavra utilizado e o tipo de minério extraído.

Neste contexto, Pontes et al. (2013) ressalta que as alterações ou problemas advindos da atividade mineral, tanto de ordem social, quanto ambiental, podem provocar maior ou menor impacto, a depender da localização, do método de lavra, do tipo de minério extraído, e do tipo de desmonte utilizado.

Os efeitos ou impactos ambientais, de modo geral, estão associados às diversas fases de exploração dos bens minerais, são elas: a retirada vegetação, escavações, movimentação de terra, a abertura da cava e alteração da paisagem local; o uso de explosivos no desmonte de rocha (sobrepessão atmosférica, vibração do terreno, ultralancamento de fragmentos, fumos, gases, poeira, ruído); e o transporte e beneficiamento do minério (geração de poeira e ruído), afetando, assim, os meios físico, biótico e antrópico. (BACCI, 2006).

Para Silva (2007), os impactos provocados pelas atividades mineiras sofrem influência de alguns fatores, tais como as características geográficas da região, o tipo de minério extraído e o método de lavra utilizado. Ademais, o impacto varia de acordo com o estágio de desenvolvimento da lavra e a legalidade do empreendimento.

Os conflitos do uso do solo ocorrem até mesmo, quando os resíduos e rejeitos de minerais são depositados ou abandonados em locais impróprios, os quais serviriam para agricultura; quando ocorre a depreciação de imóveis pela proximidade das minas; devido à geração de áreas degradadas e também transtornos do tráfego urbano, pelo aumento da circulação de transportes de grande porte. (ASSIS et al., 2011).

Neste momento, deve-se ressaltar que o desenvolvimento da mineração deve ser voltado para uma visão holística, pautada em planejamento estratégico, envolvendo os aspectos sociais, econômicos, ambientais, culturais, dentre outros, e que sejam perfeitamente contemplados na exploração mineral. Assim sendo, corrobora Pontes et al. (2012) ao ensinar que os problemas ambientais decorrentes da mineração podem ser reduzidos a um nível aceitável pela comunidade.

Como por exemplo, se a lavra for executada de modo a preservar as condições de saúde, segurança e bem estar da população afetada, adotando-se técnicas modernas de

extração e beneficiamento, e pelo monitoramento continuado dos parâmetros ambientais envolvidos, mantendo-os, no mínimo, dentro dos limites estabelecidos pelos organismos governamentais fiscalizadores.

Conforme já demonstrado, a atividade de extração mineral, assim como as demais atividades extrativas, causam impactos ambientais. Na mineração, a extração e o beneficiamento são responsáveis por impactos ambientais consideráveis.

A atividade mineira altera a área minerada e as áreas vizinhas onde são colocadas pilhas de estéril e de rejeito. Assim, entende-se que o controle e a minimização dos efeitos/impactos da mineração são práticas importantes que devem acompanhar o planejamento e a execução dos trabalhos de extração mineral. (SÁNCHEZ, 1995).

Neste contexto, a legislação ambiental de forma indispensável tem dado uma contribuição para as boas práticas de extração mineral, que buscam conciliar desenvolvimento econômico, progresso social e práticas ambientalmente sustentáveis.

2.3 RESÍDUOS SÓLIDOS DA MINERAÇÃO

Segundo Fiorillo (2009, apud Guerra, 2012), lixo e resíduo tendem a significar a mesma coisa, pois de forma genérica, pode-se afirmar que constituem toda substância resultante de não interação entre o meio e aqueles que habitam, ou somente entre estes, não incorporada a esse meio, isto é, que determina um descontrole entre os fluxos de certos elementos em um determinado sistema ecológico. Em outras palavras, resíduo é o resto, a sobra não reaproveitada pelo próprio sistema, oriunda de uma desarmonia ecológica.

Parafraseando Cardoso (2015), pode-se afirmar que o termo resíduo sólido delimita a abrangência desse significado, sendo atribuído a ele a nomenclatura de rejeito, resquício, restolho ou detrito gerado pela atividade humana, que não mais interessa aos fins da produção, da economia, e de certo modo não permite interação com o meio em que está inserido, ante a não viabilidade ou inexistência de tecnologia que reverta esta condição.

Observados alguns conceitos resíduos sólidos, ainda cabe ressaltar o que aduz a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010), a qual conceitua resíduo sólido pela seguinte sentença, contida em seu artigo 3º, inciso XVI. Vejamos:

XVI - resíduos sólidos: material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública

de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções tecnicamente ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível.

No mesmo artigo, a referida Lei conceitua o termo “rejeito” como sendo “resíduos sólidos que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente”. (BRASIL, 2010). No contexto da mineração o termo rejeito recebe um significado particular como definido anteriormente no Tópico 2.1.9.

Desta feita, é fundamental a distinção destes dois termos, pois permite mencionar aquilo o que não se pode mais ser aproveitado enquanto recurso material, por não haver mais interação possível com o ambiente ou com os indivíduos, diferenciando-se daquilo que, ao contrário se permite o emprego de processos que lhe autorizem um novo fim ou nova interação. (CARDOSO, 2015).

Ademais, a Política Nacional de Resíduos Sólidos compreende que o resíduo sólido reutilizável e reciclável é reconhecido como um bem econômico e de valor social, gerador de trabalho e renda e promotor de cidadania.

Destarte, pode-se afirmar que inevitavelmente o homem produz resíduos, que na maioria das vezes são reaproveitáveis, ou em outros casos, não permitem novas interações, de forma que não podem permanecer em contato com os indivíduos geradores, por serem nocivos e impróprios enquanto recurso.

Objetivando possibilitar o destino adequado a que se dará ao resíduo, tanto na excreção quanto na sua transformação, imprescindível classificá-lo. Assim, foi justamente o que fez a Lei da 12.305/2010, em seu artigo 13, dispondo por meio de seus incisos e alíneas, que os resíduos sólidos têm a seguinte classificação:

I- Quanto à origem:

- a) Resíduos domiciliares: os originários de atividades domésticas em residências urbanas;
- b) Resíduos de limpeza urbana: os originários da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza;
- c) Resíduos sólidos urbanos: englobados na alínea a e b;
- d) Resíduos de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços: os geradores nessas atividades, excetuadas os referidos nas alíneas b, e, g, h e j;
- e) Resíduos dos serviços públicos de saneamento básico: os geradores nessas atividades, excetuados os referidos na alínea c;

f) Resíduos industriais: os geradores nos processos produtivos e instalações industriais;

g) Resíduos de serviços de saúde: os gerados no serviço de saúde, conforme definido em regulamento ou em normas estabelecidas pelos órgãos do SISNAMA e do SNVS;

h) Resíduos da construção civil: os geradores nas construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, incluídos os resultantes da preparação e escavação de terrenos para obras civis;

i) Resíduos agrossilvopastoris: os gerados nas atividades agropecuárias e silviculturais, incluídos os relacionados a insumos utilizados nessas atividades;

j) Resíduos de serviços de transportes: os originários de portos, aeroportos, terminais alfandegários, rodoviários e ferroviários e passagens de fronteira;

k) Resíduos de mineração: os gerados na atividade de pesquisa, extração ou beneficiamento de minérios.

II – Quanto sua periculosidade:

a) Resíduos perigosos: aqueles que, em razão de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade, carcinogenicidade, teratogenicidade e mutagenicidade, apresentam significativo risco à saúde pública ou à qualidade ambiental, de acordo com lei, regulamento ou técnica.

b) Resíduos não perigosos: aqueles não enquadrados na alínea a. Parágrafo único. Respeitado o disposto no art. 20, os resíduos referidos na alínea “d” do inciso I do caput, se caracterizados como não perigosos, podem, em razão de sua natureza, composição ou volume, ser equiparados aos resíduos domiciliares pelo poder público municipal.

A referida classificação atribuída pela norma leva em consideração características técnicas e físico-químicas de cada material, para se categorizar o resíduo segundo parâmetros que se baseiam no seu grau de periculosidade.

No que tange ao objeto deste estudo, tem-se que quanto à origem, trata-se de resíduos de mineração, ou seja, os rejeitos do beneficiamento de mica e de pegmatitos gerados pelas Empresas de Mineração A e B, respectivamente; e, quanto a sua periculosidade são classificados, de acordo com a supracitada norma, como não perigosos.

Do mesmo modo, a Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT por meio da NBR 10.004 relata a destinação, transporte e disposição final apropriadas dos resíduos e classifica-os quanto aos riscos potenciais à saúde pública e ao meio ambiente em:

a) *classe I* – Perigosos;

b) *classe II* – Não perigosos, sendo esta subdivida em: não Inertes e inertes.

A periculosidade de um resíduo é função de propriedades químicas, físicas e infectocontagiosas que estes possam apresentar (ABNT NBR 10.004:2004). Assim, o conhecimento do potencial poluidor é primordial para o processo de reutilização de um resíduo.

Ainda de acordo com ABNT NBR 10.004:2004, os resíduos sólidos provenientes da atividade de mineração são classificados como não perigosos e inertes, sendo estes últimos definidos como: todo aquele resíduo quando amostrado de forma representativa e submetido a um contato estático ou dinâmico com água destilada ou deionizada à temperatura ambiente, não tiver seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade da água.

Todavia, embora os resíduos deste estudo sejam classificados como não perigosos e inertes, são geradas grandes quantidades dos mesmos, que são dispostas na forma de pilhas de rejeito, não apresentando uma destinação ambiental adequada, causando uma série de impactos ambientais, assim como, em alguns casos, os empreendedores têm que arrendar áreas para fazer tal destinação e, assim, onerando o empreendimento.

Nesse sentido, Menezes, Neves e Ferreira (2002) apresentam os principais motivos para o investimento e pesquisa e tecnologia nesta área. Sendo eles:

- a) maior demanda por recursos naturais;
- b) esgotamento das reservas de matérias-primas existentes;
- c) crescente volume de resíduos sólidos e deposição inadequada destes, que oferecem riscos à saúde pública e ao meio ambiente;
- d) indisponibilidade de área para descarte deste material;
- e) necessidade de compensação da degradação existente e desequilíbrio entre os demais recursos naturais, demanda e custo; e
- f) incremento da eficiência do sistema produtivo e da qualidade do produto reciclado.

No âmbito econômico, a utilização de matérias-primas alternativas é vista pela iniciativa privada como um mercado altamente rentável e vem sendo intensificada em todo mundo, principalmente nos países desenvolvidos, já que este uso representa uma condição para o desenvolvimento sustentável, uma vez que é inevitável a geração de resíduos.

Quanto ao aspecto ambiental, é responsável pela preservação de recursos naturais, economia de energia, redução do custo no controle ambiental, aumento da durabilidade de materiais, além da geração de empregos e renda no aspecto social. Esta questão é tão importante que em alguns países uma série de resíduos não podem ser gerados, se não obrigatoriamente recuperados. (SILVEIRA, 2015).

Diante do exposto, estão sendo realizados estudos que visam à busca de alternativas para o aproveitamento desses resíduos, entre estes está à aplicação de rejeitos, como substratos alternativos no cultivo de mudas, como por exemplo, o experimento realizado no presente trabalho.

2.4 PEGMATITOS

De acordo com Soares (2004), várias conceituações foram criadas no decorrer do tempo a respeito de pegmatitos, proposta por vários autores, como Fersman (1931), Landes (1933), Johnston Jr. (1945a, 1945b), Cameron et al. (1949), Vlasov (1952), Jahns (1955), Solodov (1959), Ginzburg (1960), Ginzburg et al. (1979), London (1992) e Černý (1982a, 1991a).

Dessa forma, o referido autor indica que a primeira definição para pegmatito foi proposta por Haiüy no início do Século XIX que definiu pegmatito a partir de um conceito textural, sendo o que se conhece hoje por granito gráfico, intercrescimento geométrico cuneiforme epitaxial entre quartzo e feldspato.

Fersman (1931, apud Soares, 2004) informa que a formação de corpos pegmatíticos se produzia a partir da cristalização de fusões residuais, com cristalizações sucessivas e, em estágio tardio, através de processos metassomáticos.

Landes (1933, apud Soares, 2004) explica pegmatito como uma rocha holocristalina, intrusiva, constituída essencialmente de minerais formadores de rochas, cujos grãos individuais são maiores que os grãos dos mesmos minerais que ocorrem em rochas plutônicas equivalentes.

Por sua vez, Jahns (1955, apud Soares, 2004) afirma que pegmatitos são rochas holocristalina, pelo menos em parte, de granulometria muito grosseira, e cujos constituintes mais importantes incluem minerais típicos de rochas ígneas comuns.

London (1996, apud Soares, 2004) interpreta que pegmatitos graníticos são caracterizados pela presença de fases minerais de tamanho extremamente grande, pela heterogeneidade, incluindo abrupta variação no tamanho do grão ou na mineralogia, anisotropia de fábrica e uma extensa gama de morfologia de cristais (esqueletal, gráfica, euedral), podendo ser gerado por magmas de todas as composições, sendo esta uma definição mais geral.

Pereira, Almeida e Soares (2002) afirmam que pegmatitos são rochas de origens diversas, mas geralmente ígneas, que se distinguem das demais rochas pelas grandes dimensões (às vezes métricas) de seus minerais constituintes.

Ademais, segundo os referidos autores, os pegmatitos graníticos são os mais comuns na natureza, também conhecidos apenas por pegmatitos e têm composição mineralógica essencial, similar à composição dos granitos: quartzo, feldspato e micas claras (muscovita e lepidolita), com mineralogia acessória muito diversificada.

Luz et al. (2003) definem pegmatitos como corpos de rocha de composição basicamente granítica (quartzo-feldspato-mica), de granulação grossa em sua maioria, apresentando diversas vezes gigantes cristais, encaixados em estruturas lineares desenvolvidas em terrenos metamórficos, geralmente de idade pré-cambriana, como veios ou lentes, de forma e tamanhos variados.

Ademais, segundo os preditos autores, os pegmatitos são fontes exclusivas ou importantes de Nb-Ta, Be, Li, Sn, Cs e Bi, entre outros. Também são hospedeiros da maioria das gemas naturais, algumas delas raras ou exóticas, tais como turmalinas, berilos, topázio, granadas, euclásio, gahnita, Mn-tantalita, amazonita, pollucita, brasilianita.

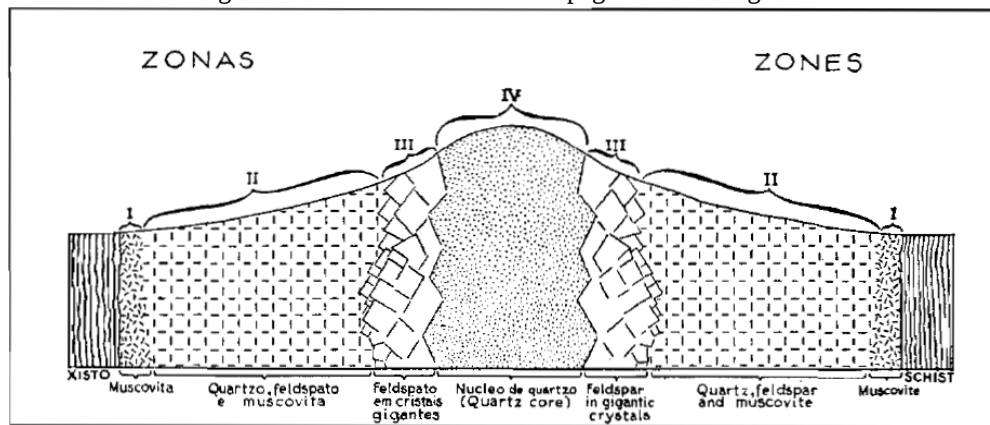
2.4.1 Classificação dos Pegmatitos

Soares (2004) afirma que várias classificações para os pegmatitos surgiram ao longo do Século XX, Fersman (1931), Solodov (1959), Černý (1982a, 1991a), Wise (1999), Hanson et al (1999), Zagorsky et al (1999), e ainda Luz et al. (2003) citam outros autores como Scorza (1944), Johnston Jr (1945), Rolff (1945), Cameron et al. (1949), Roy e Madon (1964).

Por sua vez, Luz et al. (2003) indicam que a classificação mais utilizada para os pegmatitos da Província Pegmatítica da Borborema (PPB) foi proposta por Johnston Jr (1945) que classifica pegmatitos a partir de conceitos mineralógicos e morfológicos, onde pegmatitos que apresentam zoneamento mineralógico e textural interno são denominados heterogêneos e os que não o apresentam, homogêneos.

Uma nova classe de pegmatito denominada misto foi apresentada por Rolf (1945, apud Da Luz, 2003), onde seria o pegmatito que apresenta núcleo com cristais gigantes irregulares de quartzo inseridos em uma massa rochosa homogênea. Johnston Jr. (1945) zoneou internamente pegmatito heterogêneo dividindo-o em quatro zonas (Zonas 1, 2, 3 e 4), tal qual demonstrado, a seguir, na Figura 1.

Figura 1 – Zoneamento interno de pegmatito heterogêneo



Fonte: Johnston Jr. (1945).

Onde:

a) *zona I* – tem como característica a presença de grandes cristais de muscovita, ocorrendo também feldspato e quartzo e podendo conter minerais recristalizados da rocha encaixante;

b) *zona II* – possui composição idêntica ao pegmatito homogêneo, contém feldspato, quartzo e mica em mesma proporção, podendo ter intercrescimento gráfico de feldspato e quartzo e segundo Soares et al. (2016) pode ocorrer turmalina negra;

c) *zona III* – zona onde ocorrem os minerais mais economicamente interessantes. É caracterizada pela presença de cristais gigantes de feldspato (microclina) com dimensões métricas, além de conter berilo, tantalita-columbita e espodumênio, podendo ocorrer, segundo os preditos autores, gemas de turmalina e alguns fosfatos;

d) *zona IV* – núcleo do pegmatito, geralmente composto de quartzo róseo ou leitoso e com grande frequência apresenta cristais gigantes de berilo.

2.5 QUARTZO

De acordo com Guzzo (2008), o quartzo é um dos minerais mais abundantes da crosta terrestre, que ocorre na composição das rochas magmáticas, sedimentares e metamórficas, na forma monocristalina (quartzo hialino, ametista, citrino, etc.), na forma policristalina (quartzito, calcedônia e ágata) e amorfa (opala), as quais, além das composições químicas, diferem pelas propriedades físicas inerentes.

Segundo o referido autor, dentre as propriedades físicas gerais, podem ser citadas: ausência de clivagem, fratura conchoidal (que faz o mineral romper deixando uma superfície

côncava típica), hábito prismático piramidal, cristalização no sistema trigonal. Além da piezoelectricidade, as propriedades físicas mais relevantes do quartzo são as elásticas e ópticas.

Acrescenta o mesmo autor, que em função das suas propriedades físicas, o quartzo é um material muito importante para várias aplicações industriais, com destaque para: o emprego de areias e quartzitos como agregados para a construção civil, produção de tintas, esmaltes, porcelanas, louças sanitárias, vidros convencionais e sílica vítrea para a produção de prismas, filtros, lentes e fibras ópticas.

O quartzo também é o material mais utilizado para a produção de dispositivos piezoelétricos para medidas de grandezas físicas por meio do monitoramento da frequência de ressonância no domínio dos ultrassons.

Segundo o Sumário Mineral (2017), o quartzo é o segundo mineral mais abundante no planeta Terra, ocupando cerca de 12% do volume total. Possui estrutura cristalina trigonal composta por tetraedros de sílica (dióxido de silício - SiO_2) e pode ser obtido na natureza (ocorrências ou jazidas) ou por crescimento hidrotérmico (*cultured quartz*) na indústria de cristais cultivados.

De acordo com o Relatório Técnico, Perfil do Quartzo, elaborado pela J. Mendo Consultoria, por meio do Consultor Emílio Lobato (2009), as aplicações do quartzo dependem da sua qualidade, os cristais de melhor qualidade são destinados à indústria óptica, eletrônica e de instrumentação (considerados os maiores consumidores), enquanto que os de qualidade inferior destinam-se à indústria em geral (abrasivos, cerâmica, metalúrgica). Assim, vejamos a Figura 2 demonstrada a seguir.

Figura 2 – Cristais de quartzo (hialino)



Fonte: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/4a/Quartz_oisan.jpg, 2019.

Ainda de acordo com o referido estudo, o Brasil apesar de maior produtor de quartzo, é dependente de produtos de quartzo manufaturado, estes produtos são: cristais piezoelétricos montados e suas partes, e em menor valor, cristal cultivado bruto e usinado.

Os principais setores de consumo são as indústrias de relógios eletrônicos, de automóveis, jogos eletrônicos, equipamento de telecomunicações, computadores e equipamentos médicos.

2.5.1 Usos

Segundo Lobato (2009), o emprego industrial do cristal de quartzo é função da pureza do material relacionado ao conteúdo de impurezas, defeitos presentes no cristal e outras normas requeridas pelo segmento.

Cristais de alta qualidade, geralmente, são utilizados na indústria óptica, instrumentação e de eletrônica, enquanto que os cristais de qualidade inferior são destinados às aplicações na indústria metalúrgica, cerâmica ou de abrasivos.

De modo geral, ainda segundo o autor supracitado, a partir das extrações rudimentares desse bem mineral, obtêm-se dois tipos de materiais de interesse industrial, que são:

a) cristal natural piezoelétrico – esta variedade extraída fornece “sementes” insubstituíveis para fabricação de quartzo sintético;

b) lascas de quartzo – são fragmentos de geometria irregular utilizados na indústria de vidros e na produção de quartzo cultivado e/ou granulado para obtenção de quartzo fundido.

Para a utilização como cristal piezoelétrico, o quartzo deve possuir elevado grau de pureza, livre de inclusões ou imperfeições e outras formas de irregularidades. O cristal bruto extraído é inicialmente classificado quanto à forma (facetado ou irregular), ao peso e aos defeitos macroscópicos.

Posteriormente estes são selecionados e designados de acordo com a classificação abaixo:

a) classe A – cristal hialino, incolor com 65 a 100% de material aproveitável para fins piezoelétricos;

b) classe B – cristal hialino, incolor ou leve e uniformemente colorido, com 45 a 60% de material aproveitável;

c) classe C – cristal hialino, incolor ou levemente colorido, com 30 a 45% de material aproveitável;

d) classe D – cristal hialino, incolor ou colorido, com um mínimo de 50% de material isento de defeitos perceptíveis.

As lascas de quartzo recebem uma designação, que levam em consideração os aspectos macroscópicos, da seguinte forma:

a) lascas de primeira – fragmentos perfeitamente transparentes, não opalescentes;

b) lascas de segunda: fragmentos com grau médio de opalescência e imperfeições visíveis;

c) lascas de terceira ou mista: fragmentos opalescentes, de aspecto leitoso e com maior concentração de imperfeições.

Segundo Guzzo (2008), o quartzo natural pode ser utilizado em diversos segmentos, desde aplicações convencionais, onde, quando muito, o mineral é aproveitado logo após as etapas de processamento primário (britagem, moagem e classificação), até aplicações que demandam maiores tecnologias para adequação.

2.6 FELDSPATO

Segundo Luz, Lins e Coelho (2008), Feldspato, é o termo utilizado para denominar um grupo de minerais constituídos de aluminossilicatos de potássio, sódio e cálcio. De forma geral, os principais consumidores de feldspato são as indústrias de vidro e cerâmica, estas demandam especificações físicas e químicas e determinados graus de uniformidade do produto a ser fornecido.

As variedades de feldspatos possuem propriedades físicas muito próximas, no entanto, em função das diferentes composições químicas, são classificados como: feldspatos de potássio (ortoclásio, microclínio, sanidina, adularia), feldspato de bário (celsiana), e feldspatos cálcio-sódico.

Também existe um grupo de minerais quimicamente similares aos feldspatos, denominados feldspatóides, que diferem dos feldspatos, quanto ao menor percentual de sílica em sua composição.

Os feldspatóides são aluminossilicatos de potássio, sódio e cálcio, como elementos principais da composição química, no entanto, com menor quantidade de outros íons. Nessa classe os minerais mais abundantes são a nefelina $(\text{Na,K})\text{AlSiO}_4$ e a leucita $(\text{K}(\text{Si}_2\text{O}_6))$. (LUZ; LINS; COELHO, 2008).

No Brasil, até o momento, as principais fontes de feldspatos são os pegmatitos e rochas graníticas. Outras fontes alternativas de feldspato, como nefelina sienito, têm sido

estudadas em laboratório, no entanto, a viabilidade econômica destes depósitos ainda não foi comprovada.

De acordo com o Relatório Técnico, Perfil do Feldspato, elaborado pela J. Mendo Consultoria, por meio do Consultor José Mario Coelho (2009), o feldspato é o termo que engloba principalmente dois grupos de minerais, que são os plagioclásios e os álcalis-feldspatos. Os plagioclásios formam uma solução rica em sódio, $\text{Na}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$, até a anortita rica em cálcio $\text{Ca}(\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8)$. Já os álcalis-feldspatos são representados por ortoclásio e microclina, que possuem a mesma fórmula química (KAlSi_3O_8).

As principais propriedades dos feldspatos, ainda segundo o autor supracitado (2008), são: dureza elevada, entre 6,0 e 6,5, brilho não metálico à vítreo, peso específico entre 2,5 a 2,8 g/cm³, hábito prismático ou compacto, cor branco róseo, e são cristalizados nos sistemas monoclinico e triclinico. Abaixo, a Figura 3 ilustra um típico cristal de feldspato.

Figura 3 – Feldspato (ortoclásio)



Fonte: pt.cristaisdecurvelo.com.br/pages/ORTOCLASIO, 2019.

Embora os feldspatos sejam muito abundantes na crosta terrestres, ocorrendo em muitos ambientes geológicos, apenas um pequeno número de depósitos possui características que os tornem viáveis à exploração. Os pegmatitos são considerados a principal fonte mundial de produção de feldspato, devido aos cristais de grandes dimensões, pureza e abundância.

Na província Pegmatítica da Borborema (PPB), na região Nordeste, e na província oeste do Estado de Minas Gerais situam-se os principais depósitos de pegmatitos do Brasil. Esses depósitos pegmatíticos fornecem feldspatos potássicos e algum feldspato sódico, para a indústria cerâmica. Além dos pegmatitos, outras fontes de feldspatos são: alaskitos, nefelina-sienito, granitos, aplitos, areais feldspáticas, entre outros tipos de depósitos.

Ainda de acordo com Luz, Lins e Coelho (2008), para evitar confusão entre os mercados consumidores dos bens minerais pertencentes ao grupo dos feldspatos, a Eurofel (Associação dos Produtores de Feldspatos da Comunidade Européia) resolveu criar a seguinte definição: Produtos de feldspato são alumíno-silicatos que possuem teor de sílica (SiO_2) > 58%, teor de álcalis ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) > 2%, teor de alumina (Al_2O_3) > 3% e perda ao fogo < 3%.

Outra definição, de acordo com o Sumário Mineral (2017) diz que os feldspatos são um grupo de minerais cuja composição química é descrita pela fórmula $(\text{K}, \text{Na}, \text{Ca})(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_8$. São silicatos de alumínio contendo diferentes proporções de potássio, cálcio e sódio. Estes minerais ocorrem em rochas graníticas e são os principais minerais dos pegmatitos, associados a diversos outros minerais essenciais.

2.6.1 Usos

De acordo com Kauffman e Vandyk (1994, apud Luz, Lins e Coelho, 2008), as indústrias de cerâmica e vidro correspondem aos principais campos de aplicação dos feldspatos. Tanto para vidro, quanto para cerâmica, o feldspato contribui como fonte de SiO_2 . Além dessas, o mineral também pode ser aplicado como carga funcional e extensor, nas indústrias de tinta, plástico e borracha.

A seguir são descritas, ainda de acordo com os supracitados autores, como o feldspato é utilizado nas suas principais aplicações:

a) Indústria cerâmica – a quantidade de feldspato utilizada na indústria cerâmica varia de acordo com o tipo de produto. A porcelana de mesa demanda entre 17 e 20% do mineral, cerâmica de piso entre 55 a 60%, revestimento de parede de zero a 11%, porcelana elétrica entre 25 e 35%. Nessas aplicações, o feldspato tem a função de formar uma fase vítrea no corpo/objeto, que provoque uma vitrificação e transluzimento. A formulação de qualquer cerâmica tradicional é composta de dois elementos principais: o material plástico, geralmente argila e caulim, e o material de maior dureza, comumente utilizado feldspato. O constituinte plástico permite que o corpo cerâmico seja moldado, enquanto os constituintes duros permitem a criação da forma desejada, após a etapa de queima da cerâmica. Ainda segundo esse mesmo autor, na indústria cerâmica as variedades de feldspato utilizadas são a albita, feldspato sódico e ortoclásio ou microclínio, feldspato potássico. A anortita, feldspato cálcico, é dificilmente usado, pois trata-se de um mineral muito refratário;

b) Indústria de vidros – na fabricação dos mais diversos tipos de vidro, o feldspato é usado como fonte de Al_2O_3 , Na_2O e/ou K_2O , e SiO_2 . Os álcalis (K_2O , Na_2O) contidos no

feldspato substituem, parcialmente, o carbonato de sódio e têm a função de fundente. A alumina ajuda a trabalhabilidade do vidro fundido, aumenta a resistência do vidro à corrosão química, aumenta a sua dureza e durabilidade e inibe a desvitrificação.

De acordo com Coelho (2009), mais de 90% de todo o feldspato produzido no Brasil é consumido pelas indústrias de cerâmica, vidro e coloríficos. Na indústria cerâmica a utilização do feldspato visa a atuação desse mineral como fundente (diminuindo a temperatura de fusão), além de fornecer sílica. Na fabricação de vidros o feldspato é utilizado como fundente e fonte de alumina (Al_2O_3), álcalis (Na_2O e K_2O) e sílica (SiO_2).

O predito autor acrescenta que o feldspato é também usado como carga mineral nas indústrias de tintas, plásticos, borrachas e abrasivos leves, e como insumo na indústria de eletrodos para soldas. A Tabela 1, a seguir, indica a participação em percentual do feldspato em cada uma das principais aplicações desse mineral.

Tabela 1 – Indicação dos percentuais de feldspato utilizado por produto

Produto	Percentual utilizado (%)
Azulejos	0-11
Vasilhame de vidro	8
Louça sanitária	10
Louça de mesa	17-20
Fibra de vidro	18
Porcelanato	55-60
Porcelana dental	60-80

Fonte: Adaptado de Luz et al., 2009 apud Potter, 2006.

2.7 MICA

Segundo Cavalcante, Baltar e Sampaio (2005), Mica, do latim *micare* (brilho), é um termo genérico aplicado ao grupo dos minerais constituído por silicatos hidratados de alumino, potássio, sódio, ferro, magnésio e, por vezes, lítio, cristalizado no sistema monoclinico, com diferentes composições químicas e propriedades físicas.

Quanto às propriedades, dentre outras, podem ser citadas: clivagem fácil, que permite a separação em lâminas muito finas; flexibilidade; baixa condutividade térmica e elétrica; resistência a mudanças abruptas de temperaturas. Essas características conferem múltiplas aplicações industriais para esse mineral.

Ainda para os preditos autores, o grupo das micas possui mais de 30 (trinta) minerais classificados em micas ditas verdadeiras, micas frágeis e as de intercamadas deficientes. Os

minerais de mica mais conhecidos são: muscovita, biotita, lepidolita, glauconita, paragonita, flogopita, dentre outros.

Conforme o Sumário Mineral (2015), a mica é a denominação genérica de minerais do grupo dos filossilicatos, esses minerais são formados por átomos de silício, alumínio e oxigênio, intercalados por cátions (Na, K, Ca) e/ou ânions (Mg, Fe, Mn, Al, OH), que conferem propriedades físico-químicas específicas para cada tipo de mica.

Ademais, possuem aspecto lamelar devido às suas estruturas cristalinas, caracterizadas pela alternância de camadas de tetraedros de Si ($\pm$ Al) e O, intercaladas por cátions com fracas ligações químicas que permitem o desfolhamento do mineral em lâminas ou placas (folhas). Dentre os tipos comercializados mais comuns, destaca-se a muscovita [$\text{KAl}_2 (\text{Si}_3\text{AlO}_{10}) (\text{OH}, \text{F}_2)$], disponibilizada principalmente na forma de placas (*sheets*) ou moída (*ground*).

De acordo com o Relatório Técnico, Perfil da Mica, elaborado pela J. Mendo Consultoria, por meio do Consultor Emílio Lobato (2009), a substância mineral mica é a denominação dada a um grupo de minerais de silicato de potássio hidratado, que apresenta diferenças em suas composições químicas e propriedades físicas, se constituindo num filossilicato à base de potássio, sódio ou alumínio e também podendo conter na sua estrutura magnésio e ferro. Os principais minerais do grupo das micas, de importância comercial são a muscovita (sericita), a flogopita (biotita) e também a vermiculita.

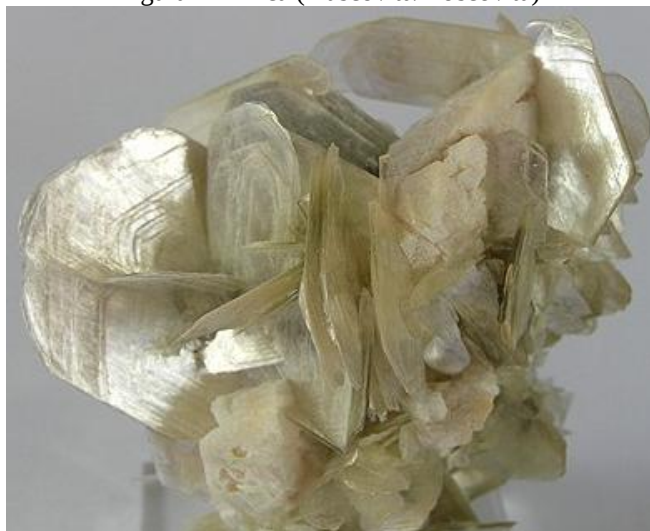
Ainda segundo o referido estudo, as micas ocorrem em rochas magmáticas, metamórficas e sedimentares, em concentrações muito variáveis, mas sua exploração industrial é feita, predominantemente nos pegmatitos, os quais são corpos rochosos de granulação grossa, originados na fase tardia da consolidação do magma, principalmente o granítico.

Assim sendo, um pegmatito minerado comercialmente é considerado rico, quando possui um teor entre 2% a 6% de mica em forma de blocos (ou livros) de mica. É possível encontrar seções dentro de um corpo com até 40% de mica lavrável, porém em corpos de grandes dimensões raramente este percentual ultrapassa a 2%.

No que tange ao presente trabalho, será abordado o mineral de mica Muscovita, pois esse foi o tipo de mica utilizado no nosso estudo, sendo o mesmo o mineral mais conhecido e com o maior número de usos industriais, dentre os minerais pertencentes ao grupo das micas.

Luz et al. (2003) afirmam que a mica engloba uma série de hidróxidos de alumínio silicatos sendo que, dentre estes, a muscovita ($\text{KAl}_2 (\text{AlSi}_3)\text{O}(\text{OH}, \text{F}_2)$) é o mais importante comercialmente. A muscovita é praticamente incolor e transparente, sendo resistente ao ataque químico e ao choque térmico, conforme Figura 4 apresentada a seguir.

Figura 4 – Mica (muscovita/moscovita)



Fonte: pt.wikipedia.org/wiki/Muscovita, 2019.

Cavalcante, Baltar e Sampaio (2005) afirmam que a muscovita se apresenta nas categorias “folha” (*sheet*) e “moída” (*ground*), e que a Mica pode ser classificada com base na cor, assim como no tamanho máximo de lâminas, o que permite a sua subclassificação abaixo:

- a) *blocos* – com espessura mínima de lâmina de 180 μm ;
- b) *finos* – com espessura entre 50 e 180 μm ;
- c) *filmes* – qualidade superior aos blocos com espessura entre 20 e 180 μm ;
- d) *splittings* – lâmina com máximo de espessura de 30 μm e área útil de 483 mm^2 .

A mica moída domina, em termos de volume, as aplicações comerciais, incluindo-se nesta categoria a mica micronizada (tamanho médio de partícula < 53 μm), moída a seco (tamanho entre 1,2 mm e 150 μm) ou a úmido (tamanho de partícula entre 45 e 90 μm). (ANDRY, 1992 apud CAVALCANTE; BALTAR; SAMPAIO, 2005).

Ainda segundo Cavalcante, Baltar e Sampaio (2005), a comercialização mais significativa da mica ocorre segundo a conhecida forma, folhas de mica, cujo preço é função das dimensões de suas folhas.

Assim sendo, aquelas folhas mais puras e sem defeitos, que não prejudicam o corte e a perfuração das mesmas, são as que possuem melhores ofertas de mercado. Entretanto, há demanda crescente por mica com granulometria fina para fins nobres, como pigmentos para indústrias de colorifícios, plásticos e cosméticos.

2.7.1 Usos

Segundo Lobato (2009), a mica é comercializada na sua forma mais primária através de folhas que terão suas cotações de preço de acordo com dimensões e defeitos que prejudiquem seu corte ou perfuração. As folhas de mica são classificadas como bloco (block), películas (film) e lâminas (splitting).

São considerados blocos aqueles minérios cujas folhas possuem espessura superior a 0,007 polegadas e possuam uma área útil de no mínimo uma polegada quadrada. As micas classificadas como película possuem espessura entre 0,0012 a 0,004 polegadas enquanto as classificadas como lâminas não ultrapassam a espessura de 0,0012 polegadas, desde que possuam uma área mínima de 0,75 polegadas quadrada.

2.7.1.1 Muscovita Folha

A muscovita folha possui várias aplicações industriais, particularmente na indústria eletroeletrônica devido à sua elevada resistência dielétrica e resistividade, baixa perda de potência (elevado fator Q) e baixo coeficiente de temperatura. Além dessas propriedades, a muscovita resiste a temperaturas de 600 a 900°C, e pode ser facilmente moldada em diferentes formas e tamanhos. (RAJGARHIA, 1987 apud TANNER, 1994).

Para Cavalcante, Baltar e Sampaio (2005), a muscovita, comercialmente, é desfolhada em lâminas nunca maiores que 2,54 cm de espessura, e que essas finas lâminas são classificadas em dez diferentes qualidades, de acordo com o tamanho e o número de impurezas presentes.

Corroborando Lobato (2009) ao afirmar que a muscovita é flexível, elástica e apresenta alta resistência à tração, podendo suportar considerável pressão mecânica perpendicular ao seu plano de clivagem, porém, ao longo desse plano pode ser facilmente separada em folhas muito finas, que são à prova de fogo e não combustíveis.

Neste contexto, Cavalcante, Baltar e Sampaio (2005) descrevem algumas aplicações da muscovita folha. São elas:

a) *janelas de microondas* – essas janelas possuem excelente resistência mecânica e baixa perda de energia, e a mica pode ser colocada utilizando métodos de baixa temperatura;

b) *condensador* – a muscovita possui em média constante dielétrica em torno de 7,0. Tal característica permite sua utilização em todos os tipos de aplicações eletrônicas;

c) transistor – as excelentes propriedades mecânicas e elétricas da muscovita, aliadas à elevada resistência à perda de carga superficial, à baixa absorção de umidade e à habilidade de dissipar calor, torna a muscovita ideal para este tipo de aplicação;

d) isolante intercamada – a muscovita, com espessura de 100 µm, é usada como isolantes para espiras usadas em transformadores classe H. O uso do mineral neste caso faz com que se diminua o tamanho e o peso dos transformadores;

e) resistência – as propriedades de elevada resistência mecânica ao aquecimento, bem como a baixa densidade aparente são apropriadas para a confecção de resistências;

f) tubo de vácuo – atualmente constitui-se na aplicação mais usual da muscovita do tipo folha por esta possuir alta resistência mecânica, propriedades elétricas e por poder ser precisamente moldada;

g) tubos e buchas – isolantes para componentes elétricos requerem tubos inorgânicos que podem ser feitos por muscovita;

h) mísseis teleguiados – o uso da muscovita nesse tipo de aplicação é secreto. Entretanto, as propriedades físicas da muscovita e tolerância ao aquecimento a transformam em uma matéria-prima aplicável à engenharia de mísseis;

i) outros usos – a mica folha de alta qualidade é usada em néon lasers de hélio, filtros ópticos especiais, pirômetros e reguladores térmicos, etc.

Nas lamas de perfuração de poços petrolíferos, a mica atua como um agente que favorece a circulação das lamas e minimiza as perdas desses fluidos de perfuração, em geral devido à infiltração na camada rochosa. A estrutura lamelar das micas proporciona a selagem das fraturas. Ademais, quando em suspensão, nesse tipo de aplicação, esse produto de mica assegura a suspensão de outros sólidos constituintes das lamas de perfuração.

2.7.1.2 Muscovita Moída a Úmido

Segundo Preston (1971; Rajgarhia, 1987 apud Tanner, 1994), a muscovita moída a úmido, devido a suas propriedades de brilho, deslizamento e alta razão de aspecto, é utilizada em alguns produtos. São eles:

a) papel parede – as partículas brilhantes de muscovita fornecem um brilho sedoso quando aplicadas ao papel;

b) pigmento perolizado – a muscovita é usada como substrato no recobrimento de vários metais para obter o efeito perolizado. Em certos tipos de plásticos o recobrimento com muscovita é utilizado como agente corante;

c) *pintura externa* – a muscovita atua como reforço do pigmento, para reduzir trincas e a penetração nas superfícies porosas e fornece excelente adesão;

d) *tintas aluminizadas* – a muscovita substitui o alumínio em até 25% e é utilizada como uma medida econômica a este tipo de tinta. Além disso, a muscovita é inerte e protege o alumínio reativo de atmosferas corrosivas, promovendo a manutenção do brilho da tinta;

e) *plásticos* – é usada como carga para melhorar a qualidade de resistência térmica e elétrica e sua qualidade isolante. Embora, também seja usada a muscovita moída a seco para este tipo de aplicação, a muscovita moída a úmido possui maior penetração neste tipo de mercado devido à sua propriedade de extrusão e também porque pode substituir a fibra de vidro, que é muito cara, em alguns casos;

f) *muscovita micronizada* – é aquela composta de partículas muito finas abaixo de 40µm. Esse produto é usado para substituir a muscovita moída a úmido em certos tipos de tintas. A muscovita micronizada, de preferência calcinada, é também usada em aplicações cosméticas como esmaltes de unha, batons, sombras e cremes, em decorrência da sua elevada estabilidade da luz ultravioleta, excelente lubricidade, adesão à pele e compressibilidade. É coberta por alguns metais como o dióxido de titânio, para produzir esse efeito perolizante.

2.8 MORINGA (*MORINGA OLEÍFERA* LAM)

De acordo com Ramachandran et al. (1980), a *Moringa oleífera* Lam, é uma árvore nativa do nordeste da Índia, pertencente à família Moringaceae, também conhecida como Lírio branco e Acácia branca. (OLIVEIRA et al., 2018), que possui tamanho de pequeno a médio porte.

Ademais, a família Moringaceae é formada por um único gênero, *Moringa*. Dentro deste há 13 espécies diferentes, que variam em suas características e formas de crescimento, desde ervas e arbustos a árvores maiores, sendo a espécie-tipo *oleífera* a mais conhecida e mais cultivada. (OLSON; FAHEY, 2011). Para Silva e Matos (2008), a *M. oleífera* L. é uma planta de desenvolvimento e crescimento rápido, caducifólia, com casca de cor clara, atingindo até 10 metros de altura, sua propagação é feita por meio de sementes, mudas ou estacas.

Acrescentam Ruiz, Odio e Carrión (2012) que a *Moringa* é uma árvore nativa do Sul do Himalaia, que se espalhou para outras partes da Índia, Bangladesh, Afeganistão, Paquistão, Sri Lanka, Sudeste Asiático, Oeste da Ásia, Península Arábica, África Oriental e Ocidental, Sul da Flórida, Caribe, América Central e grande parte da América do Sul.

Na América tropical, é geralmente cultivada como planta ornamental, acredita-se que foi levada da Índia para a África pelos ingleses e introduzido no Caribe pelos franceses e de lá para a América Central.

Para Campos (2018), as maiores plantações de moringa estão na Ásia, que produz em torno de 80% de toda moringa no mundo. O grande destaque é a Índia que a maior produtora é a maior exportadora de sementes, folhas e frutos da moringa.

A introdução da *M. oleífera* no Brasil foi tímida, e data dos anos 50, principalmente no Estado do Maranhão, sendo este o de maior produção e onde estão localizadas as maiores plantações de moringa do país, possuindo plantações intensivas destinadas, em grande parte, para a exportação. Atualmente a Moringa está disseminada por todo Nordeste, principalmente, como árvore de ornamentação. (CAMPOS, 2018). A seguir, na Figura 5 podemos observar um exemplar de uma Moringa adulta.

Figura 5 – Moringa adulta com destaque para suas diferentes partes



Fonte: Barbosa, 2017.

2.8.1 Usos e Aplicações da Moringa

No que tange às aplicações e usos da Moringa, Almeida et al., (2017), afirmam que, por conta de suas propriedades, a Moringa é considerada uma fonte excepcional de vitamina A, vitaminas B e C, sendo alto teor de proteínas provindo de suas folhas, galhos e do óleo de suas sementes.

Ainda segundo os preditos autores, poucas partes da árvore contêm quaisquer toxinas, possibilitando a utilização de quase toda sua extensão. O uso na alimentação humana e animal, no tratamento de água, na produção de biodiesel, na indústria cosmética, na medicina e indústria farmacêutica, são exemplos do aproveitamento dos benefícios ocasionados pelas particularidades da *Moringa oleífera*.

Conforme Campos (2018), a *M. oleífera* é uma planta com grande potencial de fornecer ao mercado diversos subprodutos fabricados de suas folhas, sementes, caule, raiz flor e fruto. A espécie é rica em vitaminas A e C, além de fósforo, cálcio, proteínas e, ao longo dos últimos anos vem sendo inserida em programas de nutrição. (AGUSTINI et al., 2015).

Ademais para Campos (2018), a *M. oleífera* apresenta vantagem frente a plantas já utilizadas para extração de óleo como babaçu, castanha, copaíba, jaborandi, entre outras devido à facilidade de seu cultivo e na maior produção por hectare.

2.8.2 Importância da Moringa para o Semiárido

Bakke et al., (2010) consideram esta espécie de grande importância para o semiárido brasileiro, dada à sua capacidade de sobrevivência e produção em zonas de baixa umidade do solo, tolerância à elevadas temperaturas do ar, alta evaporação e grandes variações na precipitação.

Corroborando Santos (2010), ao afirmar que a Moringa é uma espécie que vem sendo apontada como alternativa para regiões semiáridas, podendo ser utilizada na agricultura familiar como fonte de suplemento alimentar (pelo seu alto valor nutritivo), purificador de água, medicinal, e pelo óleo de suas sementes. Acrescentando que, a espécie torna-se ainda mais atrativa para a região em questão, por ser de fácil cultivo, baixo custo de produção e de alto rendimento.

Para Oliveira et al. (2012), a Moringa não apresenta exigências específicas em termos de tipos de solos a não ser a impossibilidade de se desenvolver em solos encharcados. O que a

faz ter grande potencial para a produção de biocombustível no semiárido nordestino, pois é uma planta que se enquadra bem às características do semiárido, anteriormente citadas.

A carência de forrageiras adaptadas ao clima severo do semiárido paraibano tem provocado à busca contínua por espécies tolerantes à seca. (BAKKE et al., 2010). A *Moringa oleífera* cresce rapidamente, podendo ser cultivada em solos pobres, requerendo o mínimo de atenção em longos períodos de seca. (AGUSTINI et al., 2015).

Segundo Barbosa (2017), a moringa é uma boa alternativa para alimentação animal no período da estiagem, devido seu potencial forrageiro, sendo também uma alternativa na recuperação de áreas degradadas, a autora enfatiza a importância de compreender o comportamento da moringa numa área degradada já que esta é uma planta bem adaptada ao semiárido, com grande potencial para forragem, adubação verde e uso medicinal, possuindo baixa necessidade hídrica, crescimento rápido e fácil disseminação.

Ainda para a predita autora, este comportamento indica que depois de estabelecida na área, a planta pode se manter com autossuficiência através da deposição de restos vegetais no solo e fazendo suas reservas hídricas durante a estação chuvosa.

Em pesquisas desenvolvidas por Barbosa (2017), sobre o comportamento e aspectos morfofisiológicos da *M. oleífera* L. cultivada em área degradada, obteve-se que a *M. oleífera* L. possui potencial para o seu desenvolvimento numa área degradada submetida a manejos de preparo do solo, fertilização e irrigação. Mesmo sendo um solo raso, alto grau de compactação, com baixos níveis de nutrientes e água em parcimônia, a mesma conseguiu se estabelecer.

Segundo Oliveira et al. (2018), a moringa é um exemplo de coagulante natural, e vem sendo utilizada no tratamento de água, em sua grande maioria, na região nordestina, principalmente no semiárido, onde a escassez de água representa grande dificuldade para a população, comprometendo também o abastecimento para o consumo das criações de animais.

2.9 SUBSTRATO E QUALIDADE DAS MUDAS

Ballester-Olmos (1992, apud Melo, 2019) define o termo substrato como sendo um meio físico, natural ou sintético, onde se desenvolvem as raízes das plantas que crescem em um recipiente, com um volume limitado.

Ademais, é composto por uma ou mais matérias-primas misturadas ou ainda com um só constituinte, objetivando a substituição do solo e promovendo as condições físicas e

químicas, adequadas às necessidades específicas de cada cultivo. (MINIMANI, 1995; FONTENO, 1993 apud MELO, 2019).

Por sua vez, segundo Santos (2006, apud Trajano, 2010), o substrato é um insumo indicado como parte decisiva no processo de produção de mudas das mais diversas plantas de interesse econômico. Assim sendo, o aumento de produtividade e a melhoria na qualidade das mudas formadas, aliada a fatores ambientais têm alavancado um crescimento de consumo de substratos nos últimos anos.

Nesse ponto, corrobora Silva (2011) ao afirmar que o substrato fornece suporte estrutural, hídrico e nutricional às plantas sendo o meio em que as raízes se desenvolvem, possibilitando desenvolvimento adequado ao estabelecimento das mudas no campo após o transplântio.

Conforme Grave et al. (2007), o substrato é fundamental no crescimento da planta em cultivos sem solo, tendo que garantir por meio de sua fase sólida o crescimento da parte aérea e o desenvolvimento do sistema radicular, com volume restrito.

Tendo em vista que os recursos naturais estão cada vez mais escassos, devem-se selecionar materiais alternativos a serem utilizados para o cultivo de mudas e plantas no preparo do substrato, o qual é essencial para obtenção de mudas de qualidade.

Vale ressaltar que estes materiais devem ser de fácil obtenção, ambientalmente corretos, ter estrutura estável, tempo de decomposição razoável, serem homogêneos, de baixo custo e conterem características físicas, químicas e biológicas compatíveis com a muda a ser produzida. (KLEIN, 2015 apud MELO, 2019).

Destarte, Santos (2006, apud Trajano, 2010) acrescenta que os substratos assumem cada vez maior importância nas áreas de olericultura, floricultura, silvicultura e fruticultura, funcionando principalmente como suporte físico ao sistema radicular das plantas e mudas em recipientes.

Um dos fatores de grande relevância é a escolha do substrato, pois é onde o sistema radicular irá desenvolver-se, determinando o crescimento da parte aérea em tubete, até o momento do transplântio. (JABUR; MARTINS, 2002).

Os substratos utilizados devem ofertar boas condições para o desenvolvimento da muda. Por essa razão, são necessários estudos sobre a adaptação das culturas, em relação aos substratos, bem como os parâmetros de desenvolvimento das plantas. Além de fornecer a sustentação, o substrato deve favorecer a passagem de água, oxigênio, nutrientes e oferecer condições para o estabelecimento com fungos micorrízicos. (BUSAO et al., 2012 apud MELO, 2019).

Segundo Pereira et al. (2008), os substratos devem apresentar, entre outras características, fácil disponibilidade de aquisição e transporte, ausência de patógenos, riqueza em nutrientes essenciais, pH adequado, boa textura e estrutura.

Com base nos estudos dos autores, é essencial e desafiador escolher um substrato de qualidade que seja economicamente viável e ambientalmente adequado, como por exemplo, o aproveitamento de resíduos sólidos, de modo que os impactos socioambientais sejam minimizados.

Para se obter uma produção de mudas de qualidade, é imprescindível que o substrato seja de boa qualidade, e este é reconhecido principalmente por possuir características, tais como boa estrutura, alta porosidade e alta capacidade de retenção de água, bem como a ausência de substâncias que possam prejudicar as plantas. Na composição do substrato para o crescimento de plântulas, a fonte orgânica é responsável pela retenção de umidade e fornecimento de parte dos nutrientes, conforme Cunha et al. (2006).

Desse modo, para Silva, Simões e Silva (2012), quanto maior for a porosidade total dos substratos, proporcionará maior qualidade do sistema radicular o que resulta, em consequência, mudas com maior diâmetro, massa seca aérea e radicular e Índice de Qualidade de Dickson.

A germinação das sementes é influenciada pelo substrato, pois fatores como aeração, estrutura, capacidade de retenção de água, grau de infestação de patógenos, entre outros, podem variar de acordo com o material utilizado, favorecendo ou prejudicando a germinação das sementes. (WAGNER JÚNIOR et al., 2006).

Como bem observado por Campos et al. (2008), o uso de substratos provenientes de diferentes naturezas para se obter mudas, apresenta-se como uma alternativa para minimizar alguns impactos ambientais provocados pela ação antrópica. Assim, os substratos que não agredam o meio ambiente, estão sendo cada vez mais procurados por produtores, pela facilidade de obtenção e o baixo custo, além de preservar com o meio ambiente.

Dentro desse contexto, ressalta-se a importância do desenvolvimento de estudos que busquem alternativas de aproveitamento de resíduos sólidos, como por exemplo, o aproveitamento dos rejeitos do beneficiamento de mica e de pegmatitos, na composição de substratos que possuam características físicas, químicas e mineralógicas adequadas ao cultivo e produção de mudas de boa qualidade.

Dessa forma, minimizando os impactos ambientais negativos gerados pela disposição inadequada desses resíduos no meio ambiente, provendo uma destinação ambientalmente

adequada, por meio do aproveitamento dos mesmos, promovendo desenvolvimento socioambiental para a comunidade local.

2.10 PARÂMETROS MORFOLÓGICOS E QUALIDADE DAS MUDAS

Os parâmetros morfológicos são atributos determinados física ou visualmente, devendo ser ressaltado que algumas pesquisas têm sido realizadas com o intuito de mostrar que os critérios que adotam essas características são importantes para o sucesso do desempenho das mudas após o plantio no campo. (FONSECA, 2000).

De acordo com Eloy et al. (2013), na determinação da qualidade das mudas, podem ser utilizadas características morfológicas, que são baseadas nos aspectos fenotípicos.

Segundo Gomes et al. (2002), os parâmetros morfológicos são os mais utilizados na determinação do padrão de qualidade das mudas, tendo uma compreensão mais intuitiva por parte dos viveiristas, mas ainda carente de uma definição mais acertada para responder às exigências quanto à sobrevivência e ao crescimento, determinadas pelas adversidades encontradas no campo após o plantio.

Entre as diversas formas de se caracterizar uma espécie vegetal, Ramos et al. (2010) destacam a diagnose morfológica. Dentre os parâmetros morfológicos a altura da muda, diâmetro do colo ou coleto, fitomassa seca da parte aérea e radicular bem como combinações dessas variáveis possibilitam selecionar melhores lotes de mudas nos viveiros. (KROLOW, 2007).

Segundo Eloy et al. (2013), o índice de qualidade de Dickson é mencionado como uma promissora medida morfológica integrada e apontado como bom indicador da qualidade de mudas, por considerar para o seu cálculo a robustez e o equilíbrio da distribuição da fitomassa, sendo ponderados vários parâmetros importantes.

A qualidade das mudas é de extrema importância, pois ela influencia diretamente na percentagem de sobrevivência, na velocidade de crescimento e na produção final. Além do mais, mudas que demonstram melhores atributos de qualidade, por terem maior potencial de crescimento, exercem um melhor controle da vegetação invasora, reduzindo os custos dos tratamentos culturais. (MORGADO et al., 2000).

3 CARACTERIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE PEDRA LAVRADA – PB

Nas subseções a seguir será apresentada uma breve caracterização do Município de Pedra Lavrada - PB, Município no qual estão situadas as Empresas A e B, Empresas estas nas quais fizemos a coleta dos rejeitos utilizados no presente trabalho. As subseções abordarão os seguintes tópicos: Breve Histórico, Localização e Acesso, Aspectos Fisiográficos e Aspectos Socioeconômicos do Município de Pedra Lavrada-PB.

3.1 BREVE HISTÓRICO DO MUNICÍPIO DE PEDRA LAVRADA – PB

O município de Pedra Lavrada – PB recebeu esta denominação por existir a 1 km da cidade a “pedra lavrada”, que se trata de um grande bloco de granito onde se encontram inscrições variadas, alvo de estudos por historiadores. Segundo alguns, são inscrições indígenas, segundo outros, são de origem fenícia. (IBGE, s.d.).

Ademais, ainda segundo informações contidas no site do IBGE, os primeiros povoamentos da região, atualmente denominada de microrregião do Seridó Paraibano, tiveram início no ano de 1760, com a construção de uma Capela, a qual tinha sido solicitada ao Bispo de Pernambuco, pelo Capitão-Mor Mateus Bezerra Cavalcanti e José Bezerra da Costa, onde hoje se encontra a majestosa Igreja-Matriz de Nossa Senhora da Luz, freguesia criada por Lei Provincial nº 2, de 19 de agosto de 1859.

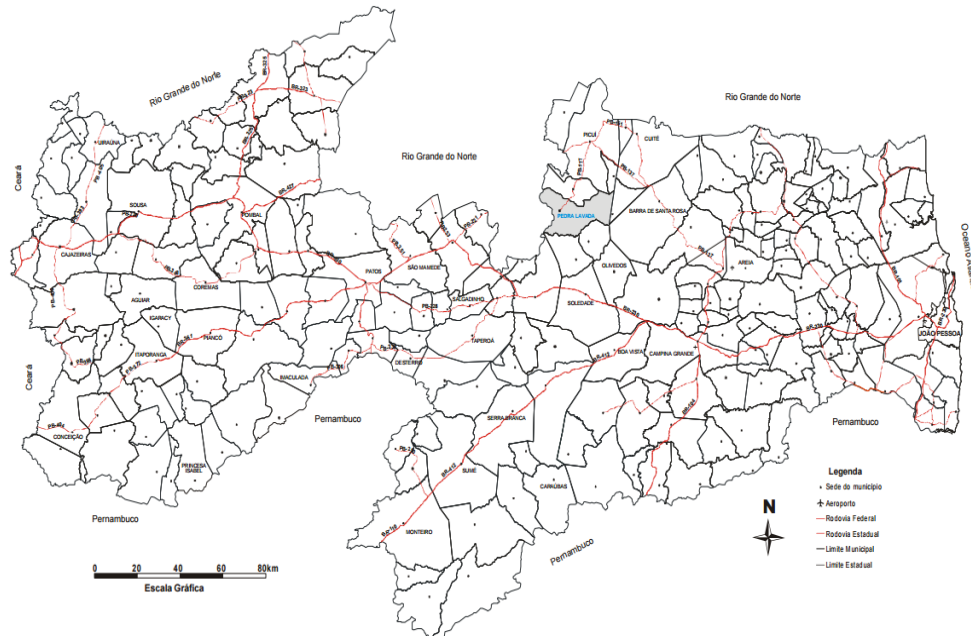
Quanto à formação administrativa, o Distrito foi criado com a denominação de Pedra Lavrada, pela Lei Estadual nº 20, de 14/06/1890, subordinado ao município de Picuí. Em divisão administrativa referente ao ano de 1911, o Distrito de Pedra Lavrada, figura no município de Picuí. Assim permanecendo em divisão territorial datada de 01/07/1955. Todavia, foi elevado à categoria de município, com a denominação de Pedra Lavrada, pela Lei Estadual nº 1944, de 13/01/1959, desmembrado de Picuí.

3.2 LOCALIZAÇÃO E ACESSO

O município de Pedra Lavrada está localizado na região Centro-Norte do Estado da Paraíba, mesorregião Borborema e microrregião Seridó Oriental Paraibano, limitando-se com os municípios de Nova Palmeira, Sossego, Cubati, Seridó e com o Estado do Rio Grande do Norte, abrangendo uma área de 391,3 km², com um percentual da área da microrregião de 14,76% e representa 0,70% da área do Estado da Paraíba. (CPRM, 2005).

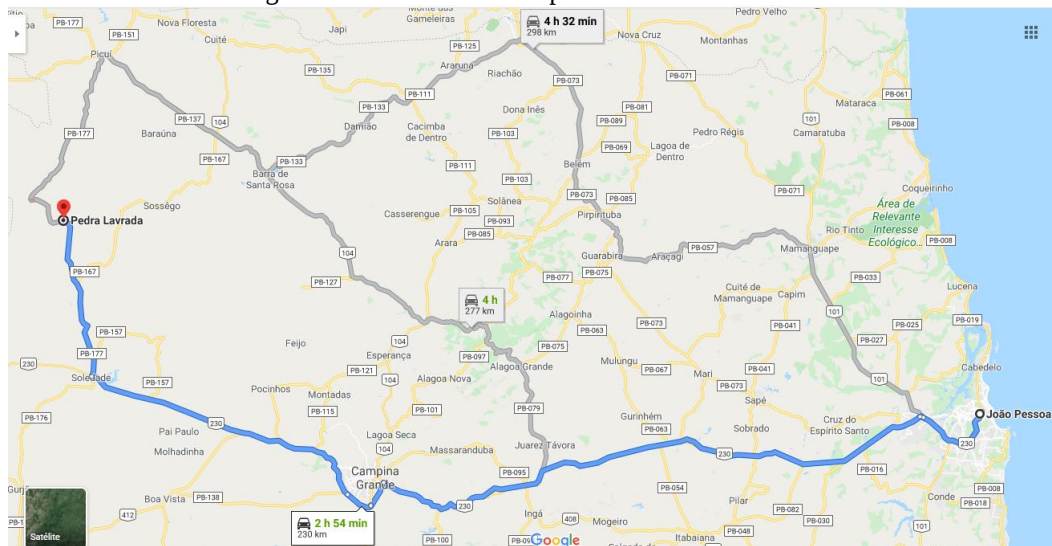
De acordo com o Serviço Geológico do Brasil – CPRM (2005), a sede do município tem uma altitude média de 516 m acima do nível do mar e apresenta coordenadas geográficas de 06°45'25" de latitude sul e 36°28'49" de longitude oeste, distando da capital cerca de 240 km, sendo seu acesso, a partir de João Pessoa, efetuado através das rodovias pavimentadas BR-230 e PB-177. Assim, seguem abaixo as Figuras 6 e 7 que apresentam o mapa de localização e de acesso do município de Pedra Lavrada/PB.

Figura 6 – Mapa de localização do município de Pedra Lavrada no estado da Paraíba



Fonte: Serviço Geológico do Brasil - CPRM, 2005.

Figura 7 – Acesso ao município de Pedra Lavrada/PB



Fonte: Google Maps, 2019.

3.3 MEIO FÍSICO

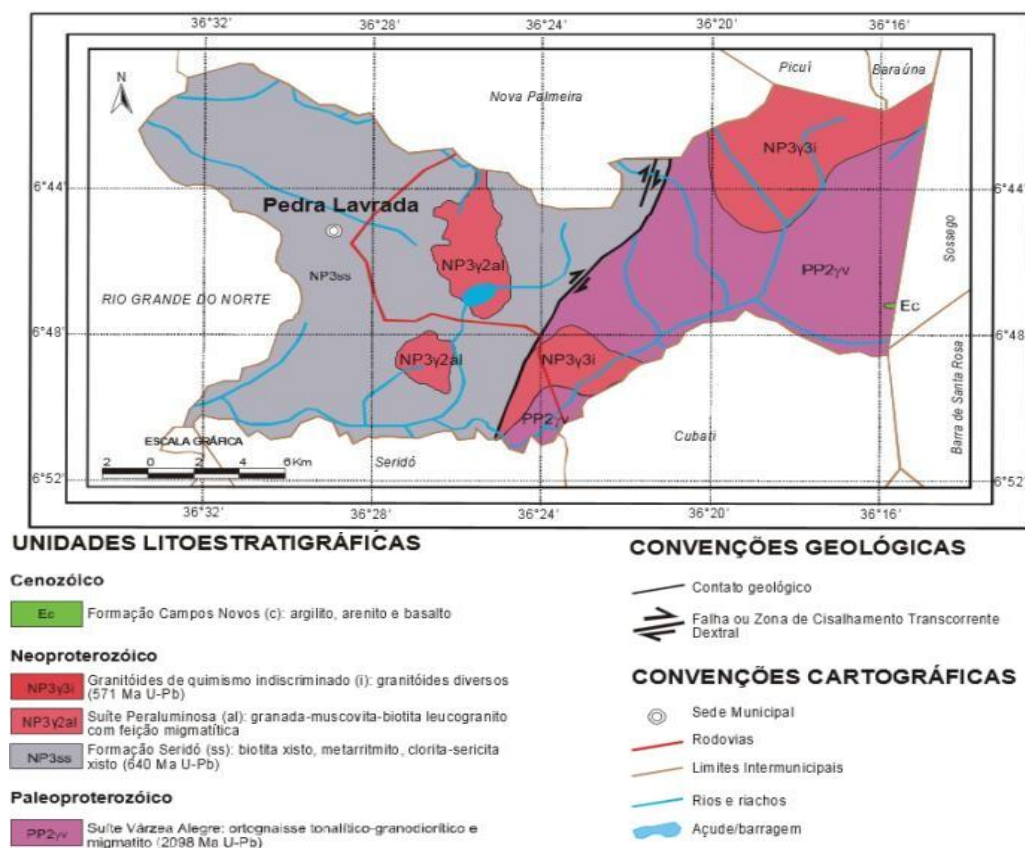
A seguir serão apresentados os principais Aspectos Fisiográficos do Meio Físico do Município de Pedra Lavrada-PB, são eles: Geologia Local, Solo, Clima, Relevo e Hidrografia.

3.3.1. Geologia Local

Afirma Assis et al. (2011) que geologicamente o município de Pedra Lavrada faz parte de uma província mineral, ou seja, da Província Pegmatítica da Borborema, onde está localizada numa região privilegiada geograficamente. A geologia do município é formada na quase totalidade por rochas ígneas ou metamórficas, dessa forma, sua estrutura geológica tem predomínio o embasamento cristalino.

Conforme informações contidas no mapa geológico do Serviço Geológico do Brasil – CPRM (2005), apresentado a seguir na Figura 8, o arcabouço geológico do município de Pedra Lavrada é constituído predominantemente por rochas cristalinas de diversas naturezas, de idades paleo a neoproterozóicas, incluindo ortognaisses, xistos e granitóides.

Figura 8 – Mapa geológico



Fonte: CPRM, 2005.

Na sua porção leste, em uma pequena área, destaca-se a presença de litologias de idades cenozóicas pertencentes à Formação Campos Novos, constituída de argilitos, arenitos e basaltos, com bentonitas associadas.

Neste sentido, corrobora Barros (2019) em seu trabalho de mapeamento geológico realizado em uma área ao sul de Pedra Lavrada, descrevendo as características petrográficas de algumas das unidades litológicas citadas acima.

Assim, para o referido autor, os xistos apresentam foliação bem desenvolvida, descritos como biotita xisto a granada-biotita-xisto de coloração cinza-escura, de granulação fina a média, textura lepidoblástica, composto por quartzo, muscovita, feldspato e biotita, por vezes com porfiroblastos de granada truncando a foliação.

O autor supracitado também destacou a presença de pegmatitos, classificando-os como alvos de aproveitamento econômico no município por serem portadores de diversos minerais industriais e gemas. Esses corpos intrudem, sob a forma de diques e sills, com maior frequência os xistos da Formação Seridó.

Ademais, os pegmatitos exibem textura equi a inequigranular, variando de homogêneos a heterogêneos, com mineralogia definida por quartzo, feldspato e muscovita, tendo como minerais acessórios mais comuns schorlita, berilo, granada e tantalita.

Os ortognaisses foram descritos, pelo predito autor, como sendo de composição granítica, com bandamentos félsico-máfico de espessuras milimétricas a centimétricas e feições migmatíticas observadas em algumas porções. De modo geral, o autor atribui a essa unidade uma coloração cinza, textura granonematoblástica, com mineralogia composta por quartzo, feldspato, biotita e hornblenda.

3.3.2 Solo

De acordo com o Levantamento Exploratório – Reconhecimento de Solos do Estado da Paraíba (1972), no município de Pedra Lavrada tem a ocorrência dos seguintes Solos:

a) solos litólicos eutróficos – com A fraco textura média fase pedregosa e rochosa caatinga hiperxerófila relevo suave ondulado e ondulado substrato biotita-xisto e fase pedregosa e rochosa caatinga hiperxerófila relevo forte ondulado e montanhoso substrato biotita-xisto;

b) NC6 – associação de Bruno Não Cálculo vértico fase pedregosa caatinga hiperxerófila relevo ondulado e Solos Litólicos Eutróficos com A fraco textura arenosa e/ou média fase pedregosa e rochosa caatinga hiperxerófila relevo ondulado substrato gnaisse e

granito. No que tange à proporção e arranjo dos componentes na associação, estes se apresentam na área, numa proporção aproximada de 70% e 30%, respectivamente. Ocorrem de modo aparentemente indiscriminado, observando-se, contudo, maior relação dos Solos Litólicos Eutróficos com A fraco textura arenosa e/ou média, com os trechos de relevo ondulado, especialmente elevações rochosas residuais. Quanto às Inclusões, destacam-se Solonetz Solodizado textura média fase caatinga hiperxerófila relevo plano e suave ondulado; Solos Aluviais Eutróficos textura indiscriminada fase caatinga hiperxerófila relevo plano; Regosol Eutrófico com fragipan fase caatinga hiperxerófila relevo suave ondulado; e Planosol Solódico com A fraco fase caatinga hiperxerófila relevo suave ondulado;

c) *Re3* – associação de Solos Litólicos Eutróficos com A fraco textura média fase pedregosa, e rochosa caatinga hiperxerófila relevo suave ondulado e ondulado substrato biotita xisto e Afloramento de Rocha. No que tange à proporção e arranjo dos componentes na associação, a dominância do primeiro componente é muito expressiva, de 85% para 15%, aproximadamente. Os Solos Litólicos Eutróficos com A fraco textura média ocorrem nas encostas e nos topos relacionados com os relevos suave ondulado e ondulado. Os Afloramentos de Rocha aparecem disseminados na área motivados principalmente pela erosão, sendo mais frequentes nas elevações onde ocorrem diques de pegmatitos. Quanto às Inclusões, destacam-se Solonetz Solodizado fase caatinga hiperxerófila relevo plano; Bruno Não Cálcico vértico fase pedregosa caatinga hiperxerófila relevo suave ondulado; Solos Aluviais Eutróficos textura indiscriminada fase caatinga hiperxerófila relevo plano; e Solos Indiscriminados Concrecionários fase caatinga hipoxerófila relevo ondulado e forte ondulado (nos remanescentes de capeamentos sedimentares desgastados pela erosão);

d) *Re4* – associação de Solos Litólicos Eutróficos com A fraco textura média fase pedregosa e rochosa caatinga hiperxerófila relevo forte ondulado e montanhoso substrato biotita xisto e Afloramentos de Rocha. No que tange à proporção e arranjo dos componentes na associação, a proporção dos componentes é de 70% e 30%, aproximadamente. Os Solos Litólicos Eutróficos ocorrem tanto nas encostas íngremes como nas partes mais suaves cobertas por vegetação mais densa. Os Afloramentos de Rocha são encontrados nas partes mais altas e desgastadas. Quanto às Inclusões, as principais são os Solos Litólicos Eutróficos com A fraco textura arenosa fase pedregosa e rochosa caatinga hiperxerófila relevo forte ondulado e montanhoso substrato quartzito; e Solos Indiscriminados Concrecionários fase caatinga hiperxerófila relevo ondulado e forte ondulado. Esta última ocorre nos remanescentes de capeamentos sedimentares de algumas elevações;

e) *Rel7* – associação de Solos Litólicos Eutróficos com A fraco textura arenosa e/ou média fase pedregosa e rochosa caatinga hiperxerófila relevo ondulado substrato gnaisse e granito e Solonetz Solodizado textura média fase caatinga hiperxerófila relevo plano e suave ondulado. No que tange à proporção e arranjo dos componentes na associação, estes ocupam, respectivamente, 60% e 40,% da área. Os Solos Litólicos Eutróficos ocorrem nas partes relacionadas com as encostas erodidas, de relevo ondulado e o Solonetz Solodizado textura média encontra-se comumente nos topos planos das elevações e no sopé das encostas. Quanto às Inclusões, as principais na área desta unidade são o Regosol Eutrófico com fragipan fase caatinga hiperxerófila relevo suave ondulado; Bruno Não Cálcico vértico fase pedregosa caatinga hiperxerófila relevo suave ondulado; e o Vertisol fase pedregosa caatinga hiperxerófila relevo suave ondulado.

3.3.3 Clima

O município de Pedra Lavrada possui clima ameno, tropical megatérmico, Bsh-semiárido quente com chuvas de verão. De acordo com a divisão do Estado da Paraíba em regiões bioclimáticas o município possui clima 2b-Sub-desértico quente de tendência tropical, com 9 a 11 meses secos. A temperatura média anual é de 27 °C a 28 °C. O inverno tem início em fevereiro e termina em julho. Com a sua temperatura variando entre a máxima de 34°C e a mínima de 17°C. (PREFEITURA MUNICIPAL DE PEDRA LAVRADA, 2020).

A sua precipitação pluviométrica é uma das menores da região, o que compromete sobremaneira o rendimento da sua produção agrícola e o desempenho do seu setor relativo à pecuária. Isto é, a pluviometria média anual é de 359,4 mm (Período 1935 - 1985), de distribuição irregular com 79% de seu total concentrando-se em 04 meses (FMAM). Nos últimos anos o referido município vem passando dificuldades em decorrência ao longo período de estiagem que acomete o Semiárido Nordeste Brasileiro.

3.3.4 Relevo e Hidrografia

O Município de Pedra Lavrada está inserido na unidade geoambiental do Planalto da Borborema, formada por maciços e outeiros altos, com altitude variando entre 650 a 1.000 metros. Seu Relevo tem 80% de sua área entre plano e ondulado, enquanto que os 20% restantes são do tipo montanhoso. Ademais, geralmente movimentado, com vales profundos e estreitos dissecados. (PREFEITURA MUNICIPAL DE PEDRA LAVRADA, 2020).

No que tange à Hidrografia, o município de Pedra Lavrada encontra-se inserido nos domínios da bacia hidrográfica do Rio Piranhas, sub-bacia do Rio Seridó. Seus principais tributários são: o Rio Seridó e os riachos: Cisplatina, Mulungu, Caraibeira, Olho d'Água, do Aterro, Tanquinho, Campinho, Campo Novo, do Feijão e Cubati. O principal corpo de acumulação é o açude Tamanduá.

Todos os cursos d'água têm regime de escoamento intermitente e o padrão de drenagem é o dendrítico. Assim sendo, o município é abrangido pela Bacia do Seridó, onde é cortado pelo rio de mesmo nome e pelos riachos do Tamanduá, Caldeirão e dos Ovos.

3.4 MEIO BIÓTICO

A seguir serão apresentados os principais Aspectos Fisiográficos do Meio Biótico do Município de Pedra Lavrada-PB, são eles: Flora e Fauna.

3.4.1 Flora

A vegetação é do tipo Caatinga-Seridó (CPRM, 2005). A cobertura vegetal primitiva é constituída por formação não florestal, subxerófila, decídua – a caatinga, com predominância de formas arbóreas e arbustivas, características de toda região sertaneja do Nordeste semi-árido. (IBGE, 1985).

3.4.2 Fauna

Segundo a Prefeitura Municipal de Pedra Lavrada (2020), existe no município uma grande quantidade de animais de pequeno porte, que são resistentes ao clima da região, dentre eles constata-se a acentuada presença dos pássaros, como o galo-de-campina, a rolinha, o lambú, a casaca-de-couro, o gavião peneira, o carcará, o concriz, a asa branca, o periquito gangarra, o papagaio, o canário da terra, o bem-te-vi e diversos outros tidos como habitantes dessa região semi-árida.

Ademais, vários outros tipos de animais vivem naquela área, tais como o preá, o tejo, o tamanduá mirim, a cobra cascavel, a cobra-de-cipó, a cobra-corre-campo, a jararaca, o gato-do-mato, o guaxinim, o gambá, o camaleão e o peba.

3.5 MEIO ANTRÓPICO

A seguir serão apresentados Aspectos Socioeconômicos do Município de Pedra Lavrada-PB.

3.5.1 Aspectos Socioeconômicos

O município de Pedra Lavrada foi criado pela Lei nº 1.944 de 13 de Janeiro de 1959 e instalado em 25 de Janeiro de 1959. Possui área de 337,220 km² e, segundo o IBGE (2020) tem uma população estimada de 7.899 (sete mil, oitocentas e noventa e nove) pessoas das quais cerca de 41% residem na zona urbana e 59% na zona rural.

A densidade demográfica é de 21,26 hab./km² e taxa de urbanização de 41,14%, o IDHM (Índice de Desenvolvimento Humano Municipal) no ano de 2010 foi de 0,574 em Pedra Lavrada. Em relação aos 223 (duzentos e vinte e três) outros municípios de Paraíba, Pedra Lavrada ocupa a 133ª posição.

Acerca da educação, segundo dados do IBGE (2010), o município possuía taxa de escolarização de 6 (seis) a 14 (quatorze) anos de idade de 98,8%, e segundo dados do IBGE (2018), haviam 930 (novecentas e trinta) matrículas no ensino fundamental, com 49 (quarenta e nove) docentes atuando em 4 (quatro) estabelecimentos de ensino de nível fundamental e 212 (duzentas e doze) matrículas no ensino médio, com 21 (vinte e um) docentes atuando em 2 (dois) estabelecimentos de ensino de nível médio. A população alfabetizada é de 5.397 (72,2%) habitantes com idades entre 15 (quinze) anos e superiores.

De acordo com informações da CAGEPA (Companhia de Água e Esgotos da Paraíba), empresa responsável pelo abastecimento de água tratada no município, 100% da zona urbana é atendida com o fornecimento de água tratada, e a zona rural recebe água do programa Operação Carro-Pipa do Exército Brasileiro. Com relação ao esgotamento sanitário, foi registrada uma taxa 39,5% domicílios que possuíam rede de esgoto e 95% dos domicílios na área urbana são atendidos pela coleta de lixo. (MELO, s.d.).

Para o predito autor, a economia do município tem como o principal suporte o Setor Primário que participa com uma faixa de 50,1 à 75%, seguindo-se o Setor Secundário com 10,1 à 20% e, o Setor Terciário com 5,1 a 25%. A agricultura participa com as culturas de sisal, algodão, feijão, milho e mandioca. A pecuária participa com a criação de bovinos e caprinos e na avicultura a criação de galináceos com produção de ovos.

Ademais, segundo Assis *et al.* (2011), a economia está diretamente direcionada ao extrativismo mineral, onde são encontrados a Tantalita, Columbita, Xelita, Berílio, Caulim, Calcário, Calcedônia, Mica, Feldspato, Albita, Albita-prego, Quartzo róseo e branco, Paralelepípedos, Granitos, Urânio entre outros. Entre 40% a 50% da mão de obra de Pedra Lavrada está direta ou indiretamente ligada exploração mineral.

As riquezas do subsolo lavradense são exploradas desde a década de 30 do século passado. Atualmente, existe uma grande preocupação quanto ao levantamento das reservas existentes. Onde dados preliminares, indicam que tais reservas foram subestimadas demasiadamente. É tanto que várias indústrias e mineradores de grande porte fizeram requerimento de pesquisa e lavra na quase totalidade das terras, em sua maioria, com técnicas primitivas e rudimentares. (ASSIS *et al.*, 2011).

O predito autor acrescenta que apesar de levantamentos serem feitos ainda não se é dado o devido incentivo à produção mineral local, por parte dos poderes públicos. Pois, dados levantados pela AGASPLA – Associação dos Garimpeiros de Pedra Lavrada, afirmam que se um robusto investimento fosse feito de maneira correta e responsável, o comércio mineral faria circular no Município entre três a quatro milhões de dólares mensalmente.

Todavia, quanto ao melhoramento da infraestrutura do município, algumas atitudes já foram tomadas, como por exemplo, a construção de uma subestação de energia elétrica, além de um trabalho tímido, mas crescente da divulgação das potencialidades minerais do município. (ASSIS *et al.*, 2011).

Ademais, de acordo com a autora supracitada, nos últimos 30 (trinta) anos, o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) do município tem alcançado um melhoramento crescente, mas um número ainda baixo em comparação ao recomendado pela ONU, uma consequência da adversidade do clima e a incipiente exploração dos recursos naturais e humanos da cidade.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O projeto foi realizado entre o período de agosto de 2019 a fevereiro de 2020, onde, inicialmente, foi realizado o planejamento do experimento no qual foram definidos todos os itens referentes à escolha, coleta e concentrações dos componentes utilizados nos tratamentos avaliados, o preparo desses tratamentos, a montagem e condução do experimento, coleta dos parâmetros morfológicos da planta e análise estatística do experimento.

O experimento consistiu no cultivo de 200 (duzentas) mudas de Moringa, em delineamento experimental inteiramente casualizado, executado em casa de vegetação, com 10 (dez) tratamentos, 4 (quatro) repetições por tratamento e 5 (cinco) plantas por repetição, totalizando as 200 (duzentas) plantas, cultivadas em tubetes de polipropileno de 280 cm³ cada.

Os substratos utilizados nos tratamentos foram compostos de solo e esterco bovino, na proporção de (2:1), com adição de dois rejeitos de beneficiamento de minérios, um deles rejeito do beneficiamento de mica e o outro de pegmatito com cinco concentrações (0; 25; 50; 75 e 100%) para cada um desses rejeitos.

O material biológico testado foi a Moringa, as sementes de *Moringa oleífera* utilizadas no experimento foram obtidas de plantas matrizes bem estabelecidas e sadias, tais sementes estavam armazenadas no Laboratório de Sementes, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba – IFPB, Campus Picuí.

Após 60 (sessenta) dias do plantio foram coletados os seguintes parâmetros morfológicos da planta: Altura da planta (AP), Diâmetro do Coleto (DC), Número de Folhas (NF), Massa da Matéria Fresca da Parte Aérea (MMFPA), Massa da Matéria Fresca da Raiz (MMFR) e Massa da Matéria Fresca das Folhas (MMFF).

Em seguida as partes das plantas colhidas foram secas em estufa de circulação de ar forçado a 65° C por 72 horas, posteriormente foram aferidas a Massa da Matéria Seca da Parte Aérea (MMSPA), Massa da Matéria Seca da Raiz (MMSR) e Massa da Matéria Seca das Folhas (MMSF) e calculada a Área foliar (AF), Teor de Água nas Folhas e o Índice de Qualidade de Dickson (IQD). Os dados coletados foram analisados através da análise de variância com desdobramentos dos efeitos dos tratamentos quantitativos em componentes de regressão linear, utilizando-se do programa de análise estatística Sisvar 5.6.

4.1 COLETA E PENEIRAMENTO DOS COMPONENTES UTILIZADOS NA COMPOSIÇÃO DOS SUBSTRATOS

A seguir serão descritos os procedimentos realizados para a coleta e peneiramento dos componentes utilizados nos substratos dos 10 (dez) tratamentos utilizados no experimento que serão detalhados posteriormente, no tópico 4.3 – Preparo dos Tratamentos. Assim, os componentes utilizados nos substratos foram: solo, matéria orgânica (esterco bovino), rejeitos do beneficiamento de Mica e rejeitos do beneficiamento de Pegmatito.

4.1.1 Coleta e Peneiramento do Solo

A coleta do solo foi realizada na Fazenda Cauaçu, situada na Zona Rural do Município de Frei Martinho-PB, à aproximadamente 18 km de distância da cidade de Picuí – PB, conforme a Figura 9 apresentada abaixo.



Fonte: Adaptado do Google Maps, 2019.

Após a coleta, o material foi transportado até o Laboratório de Cominuição e Classificação Granulométrica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba - IFPB - Campus Picuí, e foi peneirado em peneiras com aberturas de 2 mm. Além da massa de solo coletada para aplicação no preparo dos substratos, foram coletados, na mesma área, em pontos regularmente espaçados, 20 (vinte) incrementos de solo com cerca de 400 g cada, utilizando-se um trado manual para a coleta dos mesmos, totalizando uma massa de 8 kg.

Esses incrementos compuseram a amostra primária de solo que posteriormente foi homogeneizada e quarteada, até a obtenção de uma amostra de 1 kg, essa amostra foi

encaminhada ao Laboratório de Análises de Solo, Água e Planta, da Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte S/A – EMPARN, para que fossem procedidos os ensaios de fertilidade, micronutrientes e análise granulométrica. A seguir, na Figura 10 podemos observar os resultados dessas análises.

Figura 10 – Resultados dos ensaios de fertilidade, micronutrientes e análise granulométrica

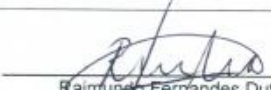
 Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte S/A - EMPARN
Rua Eliza Branco Pereira dos Santos, S/N - CNPJ: 08.510.158/0001/13
Insc.: 20.013.545-7 Tel.: (84) 3232-5864 - CEP: 59158-160 - Pamamirim - RN
site: www.emparn.rn.gov.br

LABORATÓRIO de ANÁLISES de SOLO, ÁGUA e PLANTA
Fones: (84) 3232-5864 – Ramal 211

CERTIFICADO: 2105/19

Amostra(s) n.º:	2105/19	Data:	01/11/19	Data de Entrada:	18/10/19
Solicitante:	JAYSON DAGOBERTO DOS SANTOS				
Procedência:	IFPB	Município:	Picuí - PB		
Material:	Solo	Marca:	-		
Coletor:	Laboratório:	Cliente: x	Obs.:		

DETERMINAÇÕES	RESULTADOS ANALÍTICOS
	2105/19
pH em água (1 : 2,5)	5,2
Cálcio (cmol _c dm ⁻³)	2,10
Magnésio (cmol _c dm ⁻³)	1,85
Alumínio (cmol _c dm ⁻³)	0,05
Hidrogênio + Alumínio (cmol _c dm ⁻³)	1,96
Fósforo (mg dm ⁻³)	32
Potássio (mg dm ⁻³)	122
Sódio (mg dm ⁻³)	179
Potássio (cmol _c dm ⁻³)	0,31
Sódio (cmol _c dm ⁻³)	0,78
Soma por Bases (cmol _c dm ⁻³)	5,04
CTC Efetiva (cmol _c dm ⁻³)	7,00
Saturação por Bases (V%)	72,00
Saturação por Alumínio (SAI%)	0,71
Saturação por Sódio (SNa%)	11,12
Ferro (mg dm ⁻³)	25,25
Zinco (mg dm ⁻³)	1,51
Cobre (mg dm ⁻³)	0,83
Manganês (mg dm ⁻³)	26,58
	GRANULOMETRIA
Areia (g kg ⁻¹)	837
Argila (g kg ⁻¹)	20
Silte (g kg ⁻¹)	143
Classificação Textural	Areia Franca


Raimundo Fernandes Dutra
Engenheiro Químico
CRQ 15.3.00069 – XV Região

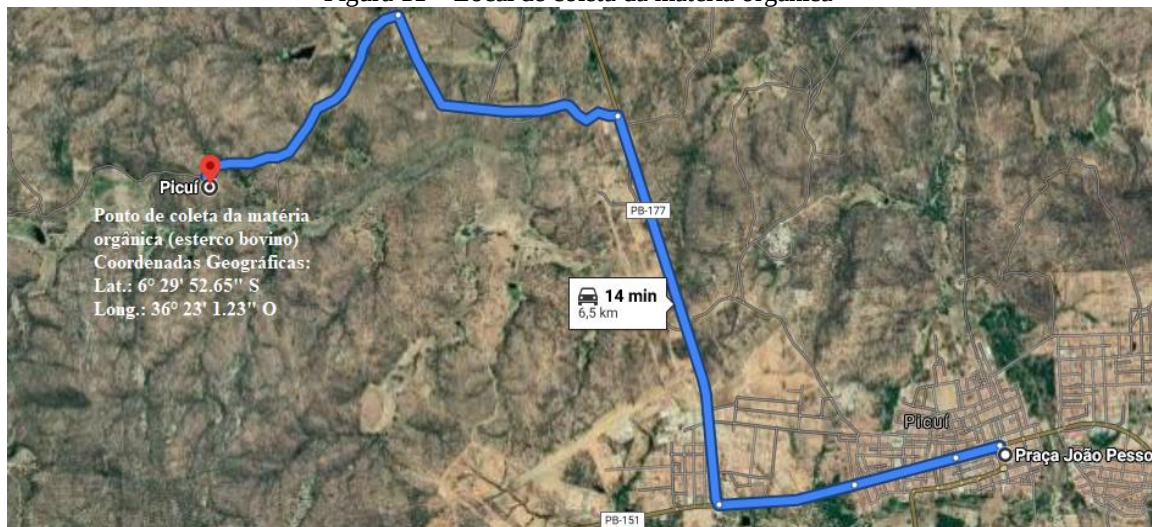
Os resultados emitidos aplicam-se exclusivamente à amostra enviada pelo interessado.

Fonte: Laboratório de Análises de Solo, Água e Planta – EMPARN, 2019.

4.1.2 Coleta e Peneiramento da Matéria Orgânica

A coleta da matéria orgânica (esterco bovino) foi realizada no Sítio Águas Belas, situado na Zona Rural do Município de Picuí – PB, a 6,5 km do centro da referida cidade, conforme demonstrado na Figura 11 a seguir:

Figura 11 – Local de coleta da matéria orgânica



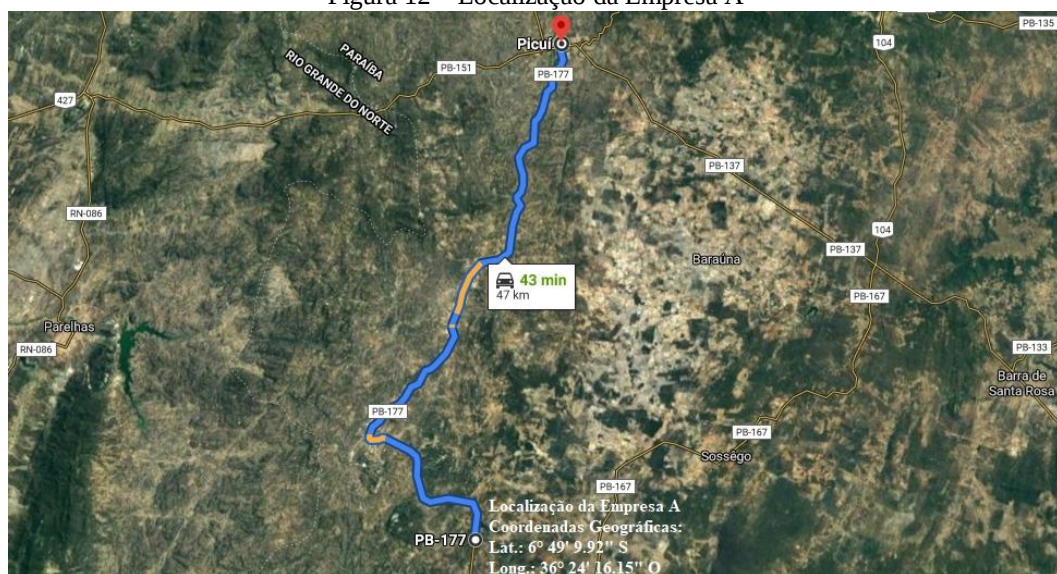
Fonte: Adaptado do Google Maps, 2019.

O material coletado foi transportado até o Laboratório de Cominuição e Classificação Granulométrica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba – IFPB / Campus Picuí, onde foi peneirado em peneiras de aberturas de 2 mm.

4.1.3 Coleta e Peneiramento do Rejeito do Beneficiamento da Mica

A coleta do rejeito do beneficiamento da Mica foi realizada nas áreas de estocagem de rejeito da empresa de mineração, denominada Empresa A, situada na Rodovia PB-177 - Km 28 - S/N, na Zona Rural do Município de Pedra Lavrada - PB, a 47 km da cidade de Picuí-PB, conforme mostrado na Figura 12.

Figura 12 – Localização da Empresa A



Fonte: Adaptada do Google Maps, 2019.

Nas áreas de estocagem estão dispostas enormes quantidades de rejeitos do beneficiamento da Mica. A Figura 13 mostra as áreas de estocagem de rejeitos da Empresa A.

Figura 13 – Áreas de estocagem de rejeitos do beneficiamento da mica



Fonte: Adaptada do Google Earth, 2019.

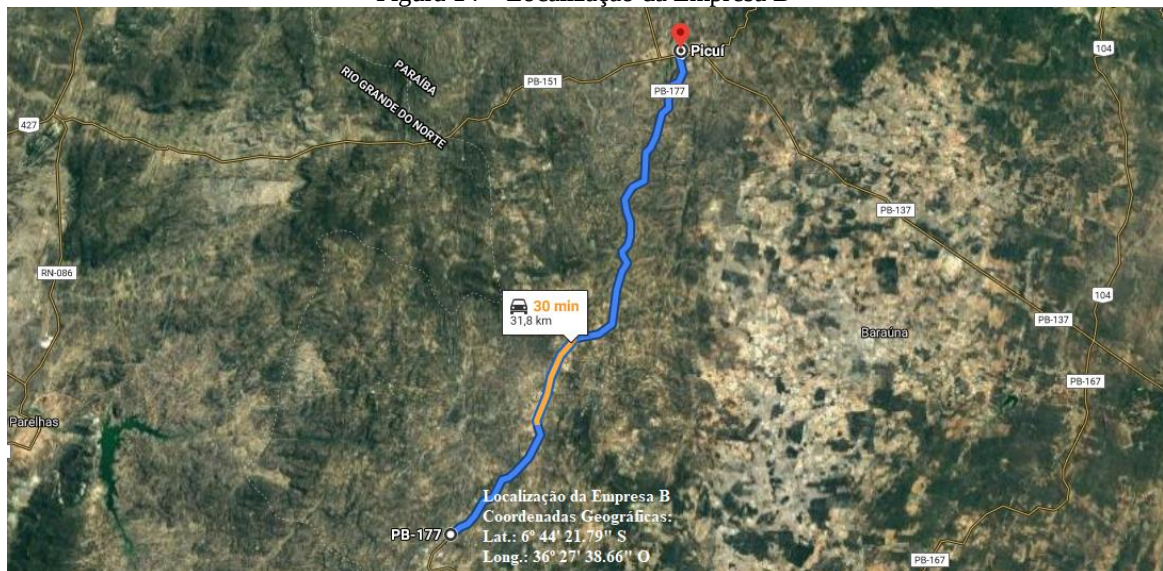
Foram coletados 300 (trezentos) incrementos/porções, utilizando-se copos amostradores com capacidade de 800 a 1000 g, a depender da densidade e da quantidade do material coletado, em 300 (trezentos) pontos regularmente espaçados ao longo das pilhas de estocagem dispostas nas áreas de estocagem de rejeitos da empresa (universo/lote), seguindo a metodologia proposta por Oliveira e Aquino (2007).

Após a coleta o material foi transportado até o Laboratório de Cominuição e Classificação Granulométrica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba – IFPB, Campus Picuí, onde foi peneirado em peneiras com aberturas de 2 mm.

4.1.4 Coleta e Peneiramento do Rejeito do Beneficiamento do Pegmatito

A coleta do rejeito do beneficiamento do Pegmatito foi realizada nas áreas de estocagem de rejeito da empresa de mineração, denominada Empresa B, situada na Rua Projetada, S/N, no Município de Pedra Lavrada - PB, a 31,8 km da cidade de Picuí – PB, conforme se mostra abaixo na Figura 14.

Figura 14 – Localização da Empresa B



Fonte: Adaptada do Google Maps, 2019.

Nas áreas de estocagem estão dispostas enormes quantidades de rejeitos do beneficiamento do Pegmatito. A Figura 15 mostra as áreas de estocagem de rejeitos da Empresa B.

Figura 15 – Áreas de estocagem de rejeitos do beneficiamento de pegmatito



Fonte: Adaptada do Google Earth, 2019.

Foram coletados 300 incrementos/porções, utilizando-se copos amostradores com capacidade de 800 a 1000 g, a depender da densidade e da quantidade do material coletado, em 300 (trezentos) pontos regularmente espaçados ao longo das pilhas de estocagem dispostas nas áreas de estocagem de rejeitos da empresa (universo/lote), seguindo a metodologia proposta por Oliveira e Aquino (2007).

Após a coleta o material foi transportado até o Laboratório de Cominuição e Classificação Granulométrica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba – IFPB, Campus Picuí, onde foi peneirado em peneiras com aberturas de 2 mm.

4.2 HOMOGENEIZAÇÃO E QUARTEAMENTO DOS COMPONENTES UTILIZADOS NOS SUBSTRATOS

Os componentes utilizados nos substratos utilizados no experimento, (solo, matéria orgânica (esterco bovino), rejeitos do beneficiamento de Mica e rejeitos do beneficiamento de Pegmatito), foram submetidos aos procedimentos de homogeneização e quarteamento, conforme proposto por Oliveira e Aquino (2007).

Cada um desses componentes foi homogeneizado e quarteado individualmente, por meio da construção de pilhas longitudinal e cônicas, além do uso do quarteador tipo Jones. As massas homogeneizadas e quarteadas de cada um dos componentes foram de 250 kg, para o solo, rejeito de mica e rejeito de pegmatito e 200 kg para a matéria orgânica (esterco bovino).

A seguir, nas Figuras 16 (A, B, C e D) e 17, estão ilustradas as operações de homogeneização e quarteamento as quais os componentes utilizados nos substratos foram submetidos. Assim, na Figura 16, temos:

A – Construção da pilha longitudinal;

B – Pilha longitudinal construída;

C – Pilha longitudinal após a tomada de 5 (cinco) das 10 (dez) seções e pilha cônica formada com as seções alternadas coletadas da pilha longitudinal; e

D – Pilhas cônicas após a tomada de 2 (duas) das 4 (quatro) porções e pilha cônica final, já na Figura 17 temos podemos observar a realização do quarteamento utilizando-se quarteador do tipo Jones.

Figura 16 – Homogeneização e quartejamento



Fonte: O autor (2020).

Figura 17 – Quartejamento utilizando o quarteador tipo Jones



Fonte: O autor (2020).

Os objetivos desses procedimentos foram: obter uma distribuição mais uniforme dos constituintes dos referidos componentes por meio da homogeneização, reduzir a massa a ser manuseada e preparar as alíquotas para análise granulométrica, química e mineralógica, etc.

4.3 PREPARO DOS TRATAMENTOS UTILIZADOS NO EXPERIMENTO

Para o preparo dos tratamentos, os componentes foram dosados de acordo com as concentrações previamente definidas para cada um dos tratamentos, posteriormente, foi realizada a mistura dos componentes utilizados em cada um dos tratamentos e em seguida cada um desses tratamentos foi homogeneizado e quarteado.

Desse modo, a seguir, a Tabela 2 apresenta os componentes e as respectivas concentrações dos mesmos em cada um dos tratamentos.

Tabela 2 – Componentes e suas concentrações aplicadas nos tratamentos do experimento

Tratamentos	Concentração de Rejeito de Mica (%)	Concentração de Solo (%)	Concentração de Matéria Orgânica(%)
Tratamento 01	00,0	66,7	33,3
Tratamento 02	25,0	50,0	25,0
Tratamento 03	50,0	33,3	16,7
Tratamento 04	75,0	16,7	8,3
Tratamento 05	100,0	00,0	0,00
Tratamentos	Concentração de Rejeito de Pegmatito (%)	Concentração de Solo (%)	Concentração de Matéria Orgânica(%)
Tratamento 06	00,0	66,7	33,3
Tratamento 07	25,0	50,0	25,0
Tratamento 08	50,0	33,3	16,7
Tratamento 09	75,0	16,7	8,3
Tratamento 10	100,0	00,0	0,00

Fonte: O autor (2020).

Para a dosagem dos componentes foram utilizadas provetas graduadas de 1000 cm³ de volume. E, esses componentes foram dosados de acordo com as quantidades de volume estabelecidas para cada um dos 10 (dez) tratamentos (12000 cm³ para cada tratamento), conforme apresentado a seguir, na Tabela 3.

Tabela 3 – Volumes dos componentes utilizados no preparo dos tratamentos

Tratamentos	Volume de Rejeito de Mica (10^3 cm^3)	Volume de Solo (10^3 cm^3)	Volume de Matéria Orgânica (10^3 cm^3)
Tratamento	0	8	4
Tratamento	3	6	3
Tratamento	6	4	2
Tratamento	9	2	1
Tratamento	12	0	0

Tratamentos	Volume de Rejeito de Pegmatito (10^3 cm^3)	Volume de Solo (10^3 cm^3)	Volume de Matéria Orgânica (10^3 cm^3)
Tratamento	0	8	4
Tratamento	3	6	3
Tratamento	6	4	2
Tratamento	9	2	1
Tratamento	12	0	0

Fonte: O autor (2020).

Após a realização da dosagem e mistura dos componentes de cada um dos tratamentos, os mesmos foram submetidos às etapas de homogeneização e quarteamento em pilhas longitudinal e cônica, e posteriormente a duas etapas de quarteamento com o quarteador do tipo Jones.

Na Figura 18 (A, B, C e D), a seguir, podemos observar a realização dessas operações, onde:

A – Homogeneização em pilha longitudinal;

B – Pilha longitudinal;

C – Pilha de Homogeneização cônica;

D – Segunda etapa de quarteamento com quarteador Jones e porções restantes das etapas anteriores de Homogeneização e quarteamento.

Figura 18 – Etapas de homogeneização e quartearamento dos tratamentos



Fonte: O autor (2020).

Os objetivos desses procedimentos foram: obter uma distribuição mais uniforme dos constituintes presentes nos tratamentos por meio da Homogeneização, de modo que não houvesse uma variação de composição entre as frações utilizadas de cada um dos tratamentos avaliados no experimento, e preparar as alíquotas para análise granulométrica, as quais todos os tratamentos foram submetidos.

4.4 SELEÇÃO DAS SEMENTES UTILIZADAS NO EXPERIMENTO

Como dito anteriormente, o material biológico testado neste experimento foi a Moringa (*Moringa oleífera* Lam), cujas sementes utilizadas, originárias de plantas adultas e saudáveis do município de Petrolina-PE, foram obtidas no Laboratório de Sementes do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba – IFPB, Campus Picuí.

Nessa etapa foram selecionadas 400 (quatrocentas) sementes avaliando-se suas características morfológicas, sendo escolhidas apenas as sementes que apresentavam um aspecto físico vigoroso, sem danos mecânicos aparentes e injúrias.

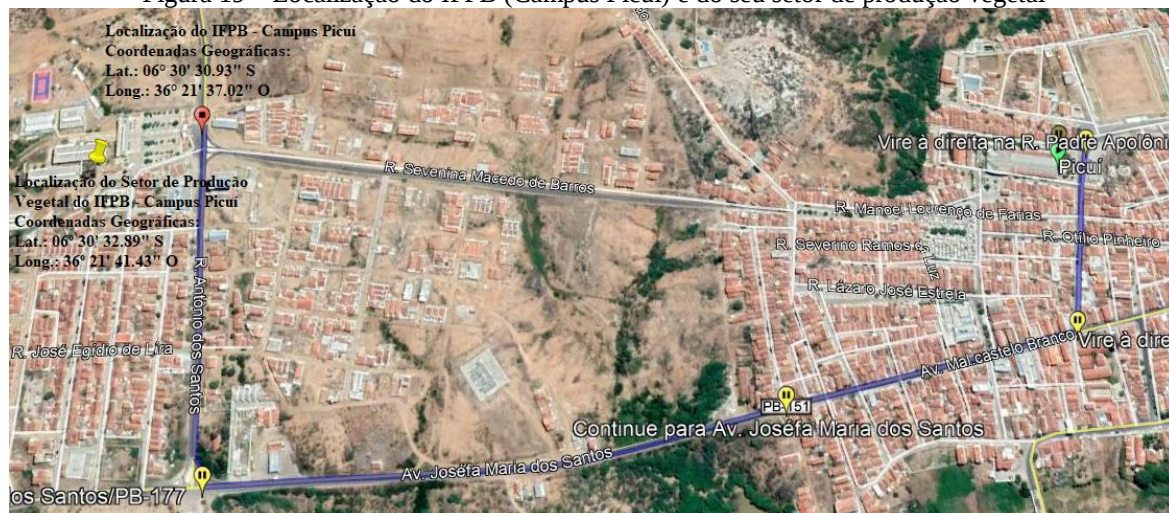
Ademais, foram consideradas sua coloração e tamanho, a fim de se obter uniformidade, selecionando as sementes mais homogêneas possível, conforme prescrevem as Regras para Análise de Sementes. (BRASIL, 2009). Vale ressaltar que foi mantido o tegumento das sementes.

Essa etapa foi realizada, visando a seleção de sementes de boa qualidade, pois esse é um dos fatores mais importantes para se obter a produtividade esperada e um alto índice de germinação.

4.5 INSTALAÇÃO DO EXPERIMENTO

O experimento foi realizado no Setor de Produção Vegetal da Coordenação de Agroecologia do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba – IFPB, Campus Picuí. A seguir, a Figura 19 mostra a localização do IFPB – Campus Picuí e do Setor de Produção Vegetal do referido Campus.

Figura 19 – Localização do IFPB (Campus Picuí) e do seu setor de produção vegetal



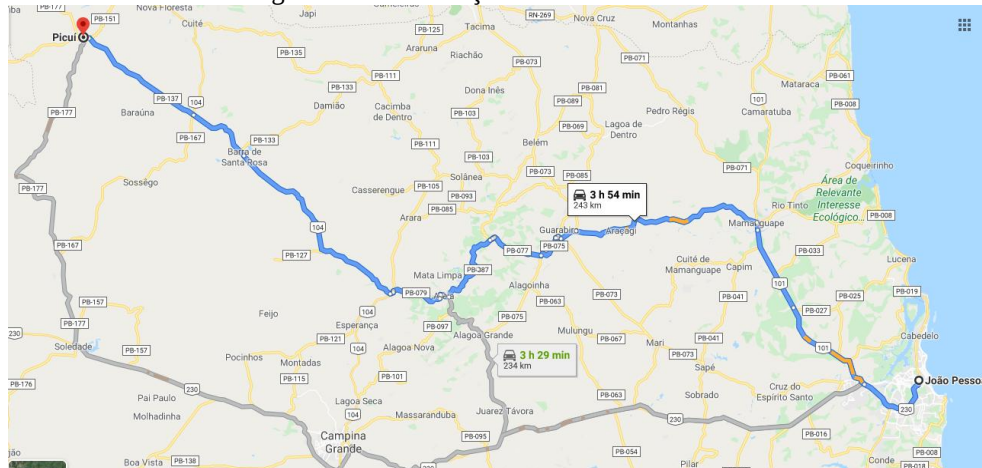
Fonte: Google Earth, 2019.

O município de Picuí situa-se na mesorregião Geográfica da Borborema e microrregião Seridó Oriental Paraibano, faz divisa com a microrregião do Curimataú Ocidental, é georreferenciado pelas coordenadas geográficas de 6° 33' 18" de latitude Sul e 36° 20' 24" de longitude Oeste, a 439 m de altitude, distante 243 km de João Pessoa – PB.

De acordo com a classificação de Köppen o clima em Picuí é considerado do tipo Bsh – Semiárido quente, seco com oscilação de temperatura média mensal entre 21,8 °C e 24,7 °C e sua temperatura média anual é por dos 23,5 °C. (SILVEIRA *et al.* 2014). Segundo Francisco

e Santos (2017) a média pluviométrica anual do município é de 362,6 mm.ano. A Figura 20 mostra a localização do município de Picuí – PB.

Figura 20 – Localização e acesso de Picuí/PB



Fonte: Google Maps, 2019.

O experimento foi instalado em casa de vegetação (viveiro telado), com sombrite de 50% de sombreamento. Para a montagem do experimento foram utilizados 200 (duzentos) tubetes, devidamente identificados e 14 (quatorze) bandejas porta tubetes com dimensões largura x comprimento de 0,40 m x 0,60 m, numeradas de 1 (um) a 14 (catorze). As unidades experimentais foram distribuídas aleatoriamente na casa de vegetação.

4.5.1 Enchimento dos Tubetes

O enchimento dos tubetes foi feito de tal modo que sua capacidade, de 280 cm³, não fosse totalmente preenchida para que houvesse espaço para comportar a água durante a execução do manejo hídrico.

4.5.2 Semeadura

Após o enchimento dos tubetes, foi realizada a etapa de semeadura, que ocorreu no dia 14 de novembro de 2019. Nesta etapa as sementes foram semeadas a 3 cm de profundidade em relação ao nível do substrato, na posição horizontal, sendo plantadas 2 (duas) sementes em cada um dos 200 (duzentos) tubetes, totalizando 400 (quatrocentas) sementes plantadas. Abaixo, a Figura 21 (A, B, C e D) mostra a etapa de semeadura.

Figura 21 – Etapa de semeadura



Fonte: O autor (2020).

4.6 CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO

A condução do experimento foi realizada durante o período de 60 (sessenta) dias, a partir do dia 14 de Novembro de 2019, dia no qual ocorreu a semeadura, ao dia 13 de Janeiro de 2020, no qual ocorreu a coleta dos dados dos parâmetros morfológicos e de avaliação da qualidade das mudas. Essa condução consistiu na execução das etapas de manejo hídrico, acompanhamento da emergência das plântulas, desbaste e rotação das bandejas, essas etapas serão descritas nos subtópicos a seguir.

4.6.1 Manejo Hídrico

O manejo hídrico ocorreu durante os 60 (sessenta) dias de condução do experimento, por meio da aplicação diária de uma alíquota de 50 cm^3 de água, cada um dos 200 (duzentos) tubetes que continham os tratamentos avaliados no presente trabalho.

Este volume foi definido por ser suficiente para manter o substrato em capacidade de campo, havendo o escoamento do excesso.

Para dosagem e aplicação dessa alíquota foram utilizados copos plásticos com 50 cm^3 de capacidade volumétrica, essa aplicação ocorreu diariamente, no período vespertino, entre às 17:00h e 18:00h. A mesma alíquota de água foi aplicada a cada um dos tubetes de modo que não houvesse favorecimento de qualquer um dos tubetes em detrimento aos demais.

Abaixo, a Figura 22 mostra a realização do manejo hídrico nos tubetes de uma das bandejas do experimento.

Figura 22 – Manejo hídrico



Fonte: O autor (2020).

4.6.2 Acompanhamento da Emergência das Plântulas

O acompanhamento da emergência foi realizado diariamente, tendo início no segundo dia após a semeadura, avaliando-se em cada um dos 200 (duzentos) tubetes se houve o aparecimento de estruturas oriundas de pelo menos uma das sementes semeadas na superfície do substrato. Em caso afirmativo, era feito o registro da emergência.

4.6.3 Desbaste

Como vimos anteriormente, na etapa de semeadura foram plantadas 2 (duas) sementes em cada um dos 200 (duzentos) tubetes, adotando uma prática muito comum na produção de mudas em casas de vegetação (viveiros de mudas), que é o plantio de mais de uma semente por recipiente, cujo intuito é tentar garantir a germinação e emergência de pelo menos uma plântula por recipiente.

O desbaste ocorreu no 14º (décimo quarto) dia após a semeadura, e foi realizado selecionando-se a plântula a ser mantida, optando-se, entre as duas plântulas presentes nos tubetes, pela manutenção da plântula visualmente mais vigorosa e sadia e ainda por aquela que estiver mais próxima do centro do recipiente.

A eliminação das plântulas excedentes foi feita por arranque manual, realizado logo após a aplicação da alíquota de água de 50 cm³ em cada um dos tubetes, com o objetivo de facilitar a retirada e não danificar as plântulas remanescentes.

4.6.4 Mudança de Posição das Bandejas

A mudança de posição das bandejas foi realizada em ciclos, que se iniciaram no 8º (oitavo) dia após a semeadura, e terminaram no 56º (quincuagésimo sexto) dia, ocorrendo a cada 4 (quatro) dias, totalizando 13 (treze) ciclos de rotação, dessa forma cada uma das bandejas ocupou cada uma das 14 (catorze) posições existentes na casa de vegetação.

4.7 COLETA DOS DADOS DOS PARÂMETROS MORFOLÓGICOS DAS PLANTAS E CÁLCULO DAS VARIÁVEIS ANALISADAS NO EXPERIMENTO

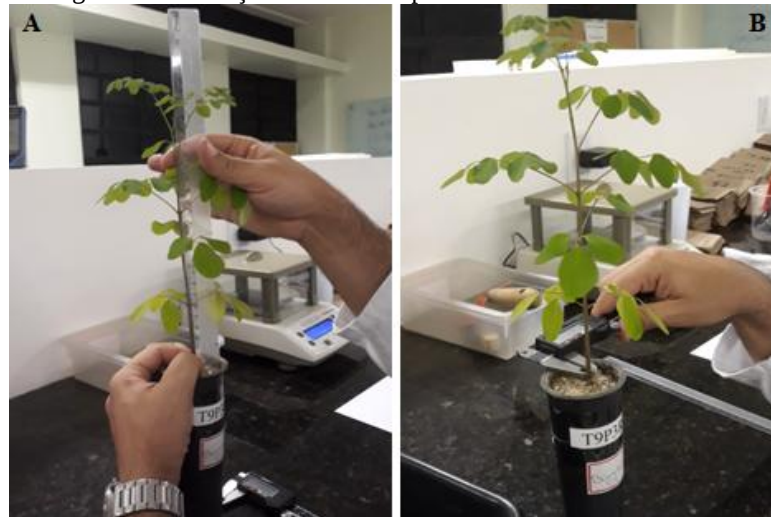
A coleta dos dados das variáveis analisadas no experimento teve início no dia 13 de janeiro de 2020, tendo sido executada no Laboratório de Sementes do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba – IFPB, Campus Picuí.

Inicialmente, foi realizada a coleta dos dados dos parâmetros morfológicos das plantas frescas, foram eles: Altura da planta (AP), Diâmetro do Coleto (DC), Número de Folhas (NF), Massa da Matéria Fresca da Parte Aérea (MMFPA), Massa da Matéria Fresca da Raiz (MMFR) e Massa da Matéria Fresca das Folhas (MMFF).

A seguir será descrito o procedimento de coleta dos dados de uma das plantas frescas, o qual se repetiu para todas as demais plantas analisadas. Tal procedimento iniciou-se com as medições da Altura da Planta (AP) e do Diâmetro do Coleto (DC), onde, para a determinação da AP, utilizou-se a régua graduada e mediu-se a distância a partir da base do caule, rente ao substrato, até o ponto de interseção do caule com a última folha da planta, no caso da determinação do DC, utilizou-se o paquímetro digital e mediu-se o DC próximo à base do caule, em seguida foi feita a contagem do Número de Folhas (NF).

Na Figura 23 (A e B) observa-se a medição da Altura da Planta (AP) e do Diâmetro do Coleto (DC).

Figura 23 – Medição da altura da planta e do diâmetro do coleto



Fonte: O autor (2020).

Feitas essas medições, removeu-se a planta do tubete e, com o auxílio da tesoura de jardinagem, cortou-se a planta na base do caule, separando-se a parte aérea da planta da sua raiz, então, utilizando-se a balança digital, mediu-se a Massa da Matéria Fresca da Parte Aérea (MMFPA) e a Massa da Matéria Fresca da Raiz (MMFR). As Figuras 24 e 25 mostram a planta inteira, removida do tubete, e a parte aérea e raiz separadas, respectivamente.

Figura 24 – Planta removida do tubete



Fonte: O autor (2020).

Figura 25 – Parte aérea e raiz da planta



Fonte: O autor (2020).

Após a pesagem da Massa da Matéria Fresca da Parte Aérea (MMFPA), as folhas foram separadas manualmente do caule e, utilizando-se a balança digital, mediu-se a Massa da Matéria Fresca das Folhas (MMFF). A Figura 26 mostra as folhas destacadas do caule.

Figura 26 – Folhas da planta



Fonte: O autor (2020).

Em seguida foram cortados 20 (vinte) discos, de 10 mm de diâmetro, a partir das folhas, utilizando-se cápsulas metálicas de formato cilíndrico. Abaixo, na Figura 27 observam-se as folhas e os 20 (vinte) discos cortados a partir das mesmas.

Figura 27 – Discos cortados das folhas



Fonte: O autor (2020).

Posteriormente à coleta dos dados dos parâmetros morfológicos das plantas frescas, e registro desses dados em tabelas específicas para tal, as partes (folhas, caule, raiz e discos) das plantas, foram acondicionadas em sacos de papel, devidamente identificados.

Em seguida, esses sacos, contendo a matéria fresca das plantas, foram submetidos à secagem em estufas com circulação forçada de ar, a uma temperatura de $65^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, por 72 horas. Após a secagem do material, realizou-se a coleta dos dados dos parâmetros morfológicos das plantas secas, foram eles: Massa da Matéria Seca das Folhas (MMSF), a Massa da Matéria Seca da Parte Aérea (MMSPA), Massa da Matéria Seca da Raiz (MMSR) e Massa da Matéria Seca dos Discos (MMSD).

De posse desses dados, foram realizados os cálculos para determinação da Área foliar (AF), do Teor de Água nas Folhas (TAF) e do Índice de Qualidade de Dickson (IQD) das plantas. A seguir serão demonstrados os cálculos para determinação dessas variáveis para a planta T1R1P1, cálculos esses que se repetiram para todas as demais plantas. Para a determinação da Área Foliar (AF) da planta, inicialmente calculou-se a Área dos 20 (vinte) Discos (AD), utilizando-se a seguinte equação:

$$AD = 20 \times \pi \times \frac{d^2}{4} \quad \text{Equação 01}$$

Onde:

AD = Área dos Discos (cm^2)

π = Pi

d = diâmetro dos discos (mm)

Os valores utilizados para o cálculo da Área dos Discos foram:

$$\pi = 3,14159$$

$$d = 10 \text{ mm}$$

Em seguida calculou-se a Área Foliar (AF) da planta, utilizando-se a seguinte equação:

$$AF = \frac{AD \times MMSF}{MMSD} \quad \text{Equação 02}$$

Onde:

AF = Área Foliar (cm²)

AD = Área dos Discos (cm²)

MMSF = Massa da Matéria Seca Foliar (g)

MMSD = Massa da Matéria Seca dos Discos (g)

Depois disto, foi calculado o Teor de Água nas Folhas (TAF), utilizando-se a seguinte equação:

$$TAF (\%) = \left[\left(\frac{MMFF - MMSF}{MMFF} \right) \right] \times 100 \quad \text{Equação 03}$$

Onde:

TAF = Teor de Água nas Folhas (%)

MMFF = Massa da Matéria Fresca Foliar (g)

MMSF = Massa da Matéria Seca Foliar (g)

Posteriormente, foi calculado o Índice de Qualidade de Dickson (IQD), utilizando-se a seguinte equação:

$$IQD = \frac{MMST}{\left(\frac{AP}{DC} + \frac{MMSPA}{MMSR} \right)} \quad \text{Equação 04}$$

Onde:

IQD = Índice de Qualidade de Dickson

MMST = Massa da Matéria Seca Total da Planta (g) = MMSPA + MMSR

AP = Altura da Planta (cm)

DC = Diâmetro do Coleto (mm)

MMSPA = Massa da Matéria Seca da Parte Aérea (g)

MMSR = Massa da Matéria Seca da Raíz (g)

Por fim, como dito anteriormente, todos os dados dos parâmetros morfológicos, tanto da planta fresca como da planta seca, foram anotados em uma tabela específica e depois tabulados em uma planilha eletrônica, na qual também foram realizados os cálculos demonstrados acima.

A partir dos dados contidos nessa planilha eletrônica foi realizada a análise estatística que será descrita posteriormente no subtópico 4.10 – Análise Estatística das Variáveis do Experimento.

4.8 ANÁLISE DOS COMPONENTES DOS SUBSTRATOS

Nos subtópicos a seguir serão descritas as análises química e mineralógica as quais os rejeitos do beneficiamento de mica e de pegmatito foram submetidos e as análises granulométricas as quais os 10 (dez) tratamentos avaliados no experimento foram submetidos.

4.8.1 Análise Química e Mineralógica dos Rejeitos do Beneficiamento de Mica e de Pegmatito

A seguir, será descrito o processo de preparo de uma das amostras para a realização dos ensaios de análise química e mineralógica dos rejeitos, processo este que se repetiu para a outra amostra.

Desta feita, temos que após a homogeneização e quarteamento dos rejeitos do beneficiamento de mica e de pegmatito, que foram realizados conforme descrito no subtópico 4.2 – Homogeneização e Quarteamento dos Componentes Utilizados na Composição dos Substratos, obtivemos duas amostras de rejeito de mica e de pegmatito de 4 kg cada.

Essas amostras foram novamente submetidas, de maneira individual, a etapas de homogeneização e quarteamento, inicialmente em pilha cônica, reduzindo a massa de 4 kg para 2 kg, em seguida essa massa de 2 kg foi quarteada com o uso de um quarteador Jones, dessa forma obtivemos duas frações de aproximadamente 1 kg cada.

De uma dessas frações retirou-se uma massa de aproximadamente 400 g, que foi submetida à cominuição utilizando-se almofariz e pistilo visando à redução granulométrica do material de modo a obter-se uma amostra com granulometria abaixo de 0,074 mm, após a cominuição essa amostra foi peneirada em peneira ABNT N° 200 (0,074 mm), até que toda

essa amostra estivesse abaixo de 0,074 mm, posteriormente quarteou-se a amostra até a obtenção de uma alíquota de 50 g.

Os objetivos desses procedimentos foram: obter uma distribuição mais uniforme dos constituintes dos rejeitos do beneficiamento de mica e de pegmatito, reduzir a massa a ser manuseada e preparar as alíquotas para análise química e mineralógica.

Essas alíquotas foram enviadas ao Laboratório de Caracterização de Materiais – LCM, pertencente à Unidade Acadêmica de Engenharia de Materiais – UAEMa, do Centro de Ciência e Tecnologia – CCT, da Universidade Federal de Campina Grande – Campus Campina/PB, onde foram realizadas as análises química e mineralógica das amostras enviadas. As amostras enviadas foram identificadas conforme a Tabela 4, mostrada abaixo.

Tabela 4 – Identificação da amostra e caracterização solicitada

Amostra	Nome original	Caracterização solicitada
1	Mica	Difração de Raios X e Análise Química por Fluorescência de Raios-X
2	Pegmatito	Difração de Raios X e Análise Química por Fluorescência de Raios-X

Fonte: Relatório Técnico do Laboratório de Caracterização de Materiais – UFCG, 2020.

Para a análise das amostras supracitadas foram utilizadas as seguintes técnicas de caracterização: Análise Química por Fluorescência de Raios X (EDX) e Difração de Raios-X. As análises, química por Fluorescência de Raios X (EDX), e mineralógica por Difração de Raios-X, serão descritas nos subtópicos a seguir.

4.8.1.1 Análise Química por Fluorescência de Raios X (EDX) dos Rejeitos do Beneficiamento de Mica e de Pegmatito

Para a realização das análises por espectroscopia por energia dispersiva de raios X (EDX ou EDS), as amostras com granulometria abaixo de 0,074mm, foram moldadas na forma de pastilha para análise de EDX, tendo sido utilizado para determinação semi-quantitativa dos elementos presentes na forma de óxidos o equipamento de EDX 720 da Shimadzu.

4.8.1.2 Análise Mineralógica por Difração de Raios X dos Rejeitos do Beneficiamento de Mica e de Pegmatito

Para a realização das análises por Difração de Raios X (DRX), as amostras com granulometria abaixo de 0,074 mm, foram prensadas manualmente em porta amostra de Al para análise por DRX, em equipamento XRD 6000 da Shimadzu. A radiação utilizada foi $K\alpha$ do Cu (40kV/30mA); a velocidade do goniômetro de 2°/min e passo de 0,02°. A interpretação foi efetuada por comparação com padrões contidos no PDF 02 (ICCD, 2003).

4.8.2 Análise Granulométrica dos Tratamentos Avaliados no Experimento

Conforme descrito no subtópico 4.3 – Preparo dos Tratamentos Utilizados no Experimento, após a dosagem e mistura dos componentes de cada um dos tratamentos, os mesmos foram submetidos às etapas de homogeneização e quarteamento.

Essas etapas proporcionaram uma distribuição mais uniforme dos constituintes presentes nos tratamentos por meio da homogeneização e a redução da massa dos mesmos, através das etapas de quarteamento, visando à obtenção de alíquotas de menor massa dos 10 (dez) tratamentos para realização da análise granulométrica dos mesmos.

Dessa forma, obtiveram-se alíquotas, com massa de aproximadamente 700 gramas, que foram devidamente acondicionadas e identificadas, essas alíquotas foram encaminhadas ao Laboratório de Cominuição e Classificação Granulométrica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Campus Picuí, onde foram submetidas à análise de distribuição granulométrica, utilizando-se a técnica de peneiramento a seco.

Os materiais utilizados nos ensaios de peneiramento foram: Bandejas com volume de 5000 cm³; Balança digital (marca Urano); Balança semi-analítica (marca KN Waagen); Peneiras granulométricas; Agitador de peneiras (marca Pavitest), entre outros.

No que tange aos procedimentos para a execução dos ensaios de classificação por tamanho de partícula, temos o seguinte: para cada uma das 10 (dez) amostras analisadas, foi adotado o procedimento experimental de peneiramento, a seco, proposto por Sampaio (2010).

Inicialmente, foi medida uma massa de 500 gramas da amostra a ser analisada, em seguida essa massa foi transferida ao agitador de peneiras, contendo uma série de 7 (sete) peneiras com as seguintes aberturas: 600, 420, 300, 150, 75, 45 e 38 µm.

Essa massa da amostra alimentou o conjunto de peneiras, na parte superior, e permaneceu sob agitação durante 10 (dez) minutos, esse peneiramento foi realizado a seco,

utilizando-se apenas umidade natural da amostra. Após o término do período de agitação, retirou-se o conjunto de peneiras do equipamento e procedeu-se a separação das frações retidas e cada peneira e a medição das suas respectivas massas.

Por fim, de posse dos valores das massas das frações retidas em cada peneira, foram realizados os cálculos de percentagens retidas, passantes e acumuladas, necessários à análise de distribuição granulométrica, e gerados os gráficos contendo as curvas de distribuição granulométricas de cada uma das amostras analisadas, para a realização dos cálculos e geração dos gráficos foram utilizadas planilhas eletrônicas.

4.9 ANÁLISE ESTATÍSTICA DAS VARIÁVEIS DO EXPERIMENTO

As variáveis foram analisadas por meio da realização da análise de variância com desdobramentos dos efeitos dos tratamentos quantitativos em componentes de regressão linear, utilizando-se do programa de análise estatística e planejamento de experimentos Sisvar - Versão 5.6.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste tópico foram apresentados e discutidos os resultados da análise estatística das variáveis avaliadas no experimento, essa análise foi realizada com intuito de avaliar a possibilidade do aproveitamento dos rejeitos do beneficiamento de mica e de pegmatitos na composição de substratos aplicados no cultivo de mudas, através da avaliação da qualidade das mudas produzidas, por meio da análise estatística das variáveis estudadas no experimento.

Ademais, foram apresentados e discutidos os resultados da análise de distribuição granulométrica dos tratamentos aplicados no experimento, bem como, os resultados da caracterização química, mineralógica e granulométrica dos rejeitos de mica e de pegmatito.

5.1 ANÁLISE ESTATÍSTICA DAS VARIÁVEIS AVALIADAS NO EXPERIMENTO

Nos subtópicos a seguir foram apresentados e discutidos os resultados da análise estatística, realizada por meio da análise de variância, utilizando-se o teste F ao nível de até 1% ou até 5% de probabilidade, aplicada às variáveis avaliadas no experimento.

Os resultados de cada uma dessas variáveis foram apresentados na forma de gráficos, que foram gerados a partir dos dados analisados utilizando-se o programa Sisvar 5.6.

A utilização dos rejeitos do beneficiamento de mica, na composição dos tratamentos (T.01; T.02; T.03; T.04 e T.05) e de pegmatito, na composição dos tratamentos (T.06; T.07; T.08; T.09 e T.10), afetou significativamente, ao nível de probabilidade de 1% ($p < 0,01$), as variáveis: Altura da Planta; Diâmetro do Coleto; Número de Folhas; Massa da Matéria Fresca da Parte Aérea; Massa da Matéria Fresca das Folhas; Massa da Matéria Seca da Parte Aérea; Massa da Matéria Seca da Raiz; Massa da Matéria Seca das Folhas; Área Foliar e Índice de Qualidade de Dickson, para ambos os rejeitos, com exceção da variável Número de Folhas a qual foi afetada significativamente ao nível de probabilidade de 1% apenas no caso do rejeito de pegmatito.

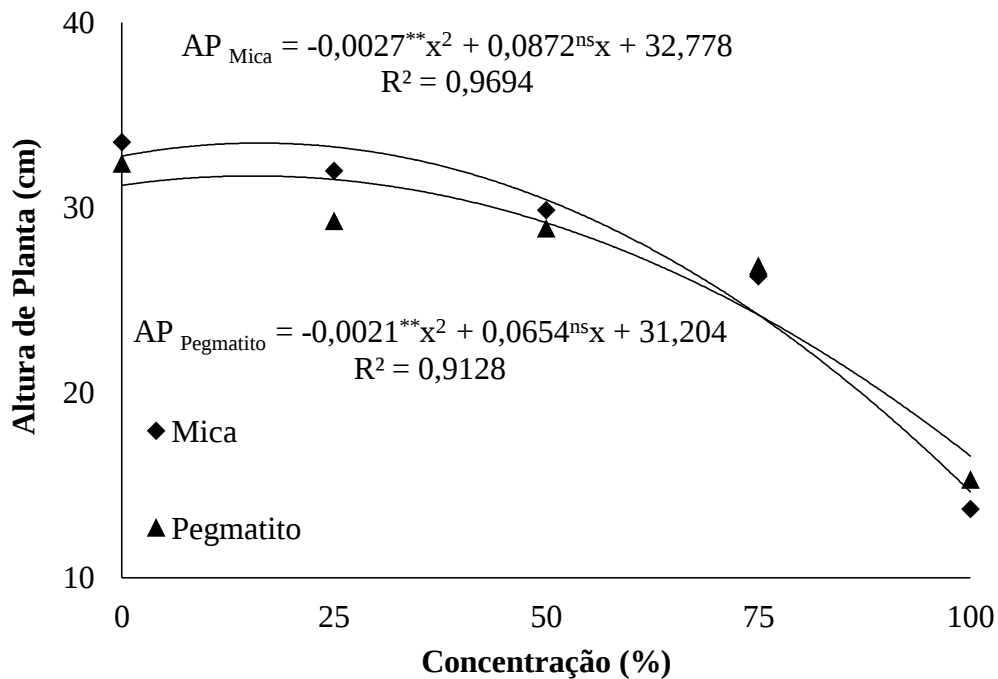
As variáveis: Número de Folhas (no caso da mica) e Massa da Matéria Fresca da Raiz (para ambos os rejeitos) foram afetadas significativamente, ao nível de probabilidade de 5% ($p < 0,05$).

Não houve efeito significativo sobre variável Teor de Água nas Folhas, em decorrência da utilização dos rejeitos do beneficiamento de mica e de pegmatito, na composição dos tratamentos.

5.1.1 Altura da Planta (AP)

Na Figura 28 apresenta-se o desdobramento da concentração dentro de cada tipo de rejeito, por meio dos gráficos do efeito das concentrações dos rejeitos do beneficiamento de mica e de pegmatitos sobre a variável altura da planta.

Figura 28 – Efeito das concentrações de rejeitos de mica e de pegmatitos presentes nos tratamentos aplicados no experimento na Altura das Plantas



Fonte: O autor (2020); * = significativo ao nível de 0,05 de probabilidade; ** = significativo ao nível de 0,01 de probabilidade; ns = não significativo.

Houve efeito significativo das concentrações dos rejeitos do beneficiamento de mica e de pegmatito sobre a altura da planta, com modelo de regressão quadrático, ajustando-se significativamente ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$), tanto para os rejeitos de mica quanto de pegmatito.

Para os rejeitos do beneficiamento de mica a altura máxima estimada foi de **33,49 cm**, obtida na concentração de **16,23%** e a menor altura foi de **14,63 cm**, correspondente à concentração de 100% de rejeitos de mica, apresentando uma diferença de 128,91% entre as alturas mínima e máxima estimadas.

No caso dos rejeitos de pegmatito a altura máxima estimada foi de **31,71 cm**, obtida na concentração de **15,45%**, e a menor altura da planta foi de 16,57 cm, correspondente à

concentração de 100% de rejeitos de pegmatito, apresentando uma diferença de 91,37% para a altura máxima estimada.

Os resultados estimados permitem afirmar que a variável altura da planta foi influenciada positivamente até a concentração de 16,23%, com relação aos rejeitos do beneficiamento de mica e até a concentração de 15,45% para os rejeitos de pegmatito, concentrações estas, nas quais foram obtidas as alturas máximas estimadas, para os rejeitos do beneficiamento de mica e de pegmatito, respectivamente, e a partir das quais a referida variável foi influenciada negativamente para ambos os rejeitos.

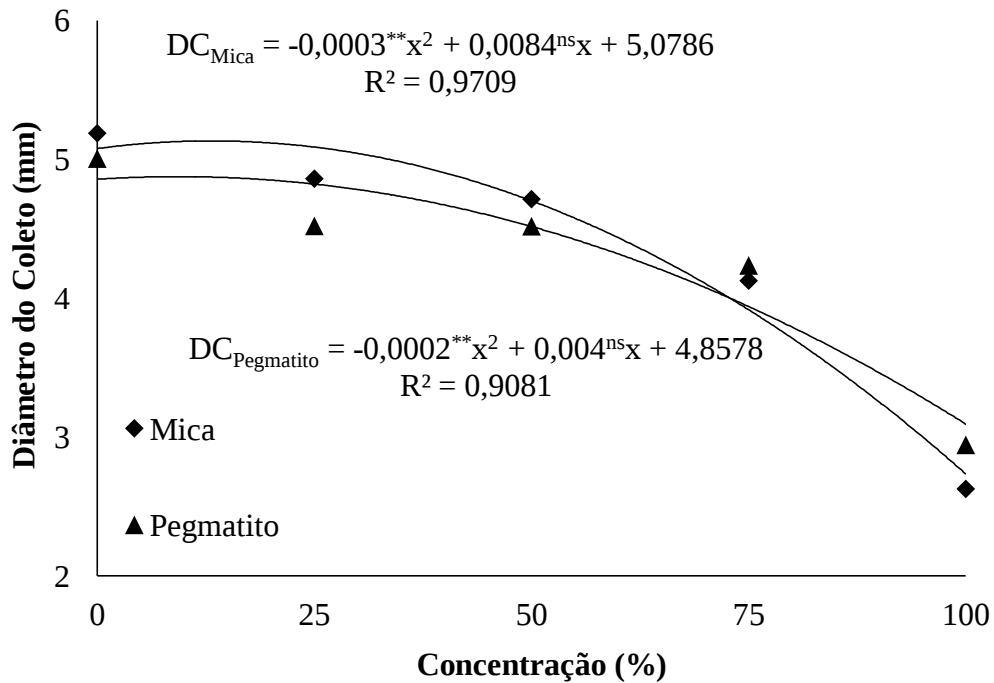
Para os tratamentos que possuem rejeitos do beneficiamento de mica em sua composição, observamos que os valores estimados de altura da planta apresentaram com relação ao tratamento T. 01 – Mica 0% (controle), um acréscimo de 1,53 %, obtido na concentração de 25%, e decréscimos de 7,19; 26,15 e 55,35%, obtidos nas concentrações de 50; 75 e 100%, respectivamente.

No caso dos tratamentos que possuem rejeitos do beneficiamento de pegmatito em sua composição, observamos que, com relação ao tratamento T. 06 – Pegmatito 0% (controle), houve um acréscimo de 1,00 %, na altura da planta, correspondente à concentração de 25%, e decréscimos de 6,48; 22,44 e 46,88% na altura das mudas cultivadas com as concentrações de 50; 75 e 100%, respectivamente.

5.1.2 Diâmetro do Coleto (DC)

Na Figura 29 apresenta-se o desdobramento da concentração dentro de cada tipo de rejeito, por meio dos gráficos do efeito das concentrações dos rejeitos do beneficiamento de mica e de pegmatitos sobre a variável diâmetro do coletor.

Figura 29 – Efeito das concentrações de rejeitos de mica e de pegmatitos presentes nos tratamentos aplicados no experimento no Diâmetro do Coletor



Fonte: O autor (2020);* = significativo ao nível de 0,05 de probabilidade; ** = significativo ao nível de 0,01 de probabilidade; ns = não significativo.

Houve efeito significativo das concentrações dos rejeitos do beneficiamento de mica e de pegmatito, sobre o diâmetro do coletor, com modelo de regressão quadrático, ajustando-se significativamente ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$), tanto para os rejeitos de mica quanto de pegmatito.

Para os rejeitos do beneficiamento de mica, o diâmetro do máximo estimado foi de **5,13 mm**, obtido na concentração de **13,19%** e o menor foi de 2,74 mm, correspondente à concentração de 100% de rejeitos de mica, apresentando uma diferença de 87,23% para o diâmetro máximo estimado.

No caso dos rejeitos de pegmatito o diâmetro máximo estimado foi de **4,88 mm**, obtido na concentração de **9,26%** e o menor foi de 3,09 mm, correspondente à concentração de 100% de rejeitos de pegmatito, apresentando uma diferença de 57,93% para o diâmetro máximo estimado.

Os resultados estimados indicam que a variável diâmetro do coletor foi influenciada positivamente até a concentração de 13,19%, com relação aos rejeitos do beneficiamento de mica, e até a concentração de 9,26%, para os rejeitos de pegmatito, concentrações estas, nas quais foram obtidos os diâmetros máximos estimados, para ambos os rejeitos, respectivamente, e a partir das quais a referida variável foi influenciada negativamente.

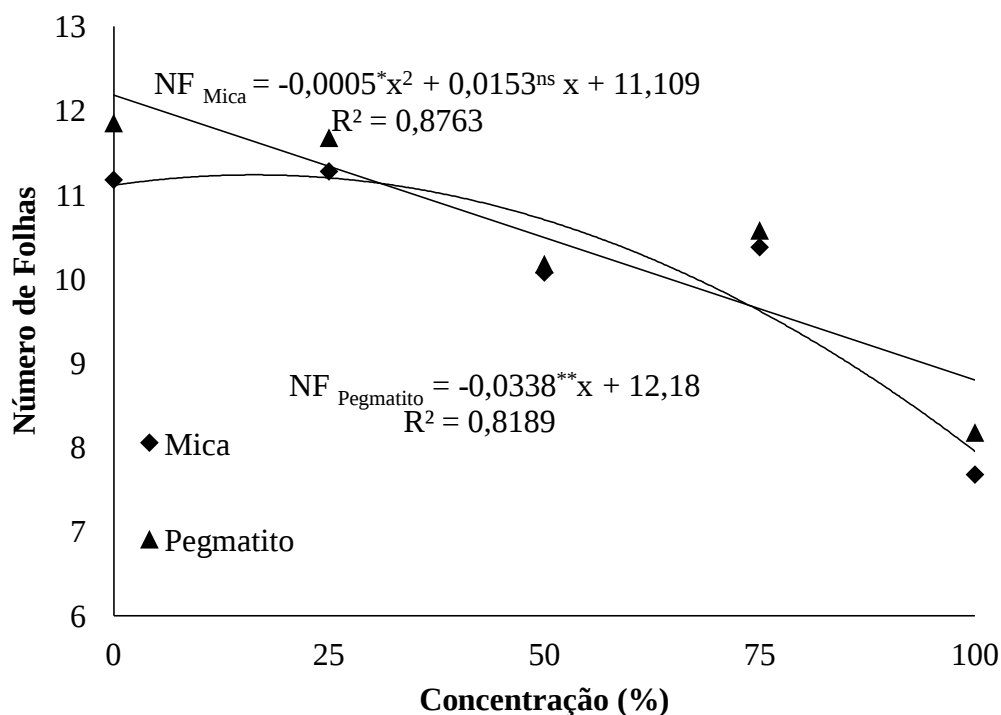
Para os tratamentos que possuem rejeitos do beneficiamento de mica em sua composição, observamos que os valores estimados de diâmetro do coleto apresentaram com relação ao tratamento T. 01 - Mica 0% (controle), um acréscimo de 0,22 %, na concentração de 25%, e decréscimos de 7,39; 22,83 e 46,10%, nas concentrações de 50; 75 e 100%, respectivamente.

No caso dos tratamentos que possuem rejeitos do beneficiamento de pegmatito em sua composição, observamos que, com relação ao tratamento T. 06 – Pegmatito 0% (controle) houve decréscimos de 0,72; 7,03; 18,93 e 36,40% no diâmetro das mudas cultivadas com as concentrações de 25; 50; 75 e 100% de rejeitos de pegmatito, respectivamente.

5.1.3 Número de Folhas (NF)

Na Figura 30 apresenta-se o desdobramento da concentração dentro de cada tipo de rejeito, por meio dos gráficos do efeito das concentrações dos rejeitos do beneficiamento de mica e de pegmatitos sobre a variável número de folhas.

Figura 30 – Efeito das concentrações de rejeitos de mica e de pegmatitos presentes nos tratamentos aplicados no experimento no Número de Folhas



Fonte: O autor (2020); * = significativo ao nível de 0,05 de probabilidade; ** = significativo ao nível de 0,01 de probabilidade; ns = não significativo.

Houve efeito significativo das concentrações dos rejeitos do beneficiamento de mica e de pegmatito sobre o número de folhas das mudas. As concentrações dos rejeitos de mica produziram efeito sobre a variável em análise, para o qual o modelo de regressão quadrática ajustou-se significativamente ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0,05$). Com relação aos rejeitos de pegmatito, obtivemos uma resposta linear significativa, ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$), para o efeito das concentrações desse rejeito sobre a variável número de folhas.

Para os rejeitos do beneficiamento de mica, o número máximo de folhas estimado foi de **11,23 folhas**, correspondente à concentração de **16,27%** e o menor foi de 7,94 mm, correspondente à concentração de 100% de rejeitos de mica, apresentando uma diferença de 41,44% para o número máximo de folhas estimado. No caso dos rejeitos de pegmatito, o número máximo de folhas estimado foi de **12,18 folhas**, correspondente à concentração **0%** e o valor mínimo foi de 8,8 folhas, obtido na concentração de 100%, apresentando uma redução de 27,75% com relação ao número máximo de folhas estimado.

Com relação aos rejeitos do beneficiamento de mica, os resultados estimados indicam que a variável número de folhas, foi influenciada positivamente até a concentração de 16,27%, concentração na qual foi obtido o número máximo de folhas estimado, e a partir da qual a referida variável foi influenciada negativamente pelos rejeitos de mica. Observamos que os valores estimados do número de folhas apresentaram com relação ao tratamento T. 01 – Mica 0% (controle), um acréscimo de 0,79 %, na concentração de 25%, e decréscimos de 3,69; 13,45 e 28,48%, nas concentrações de 50; 75 e 100%, respectivamente.

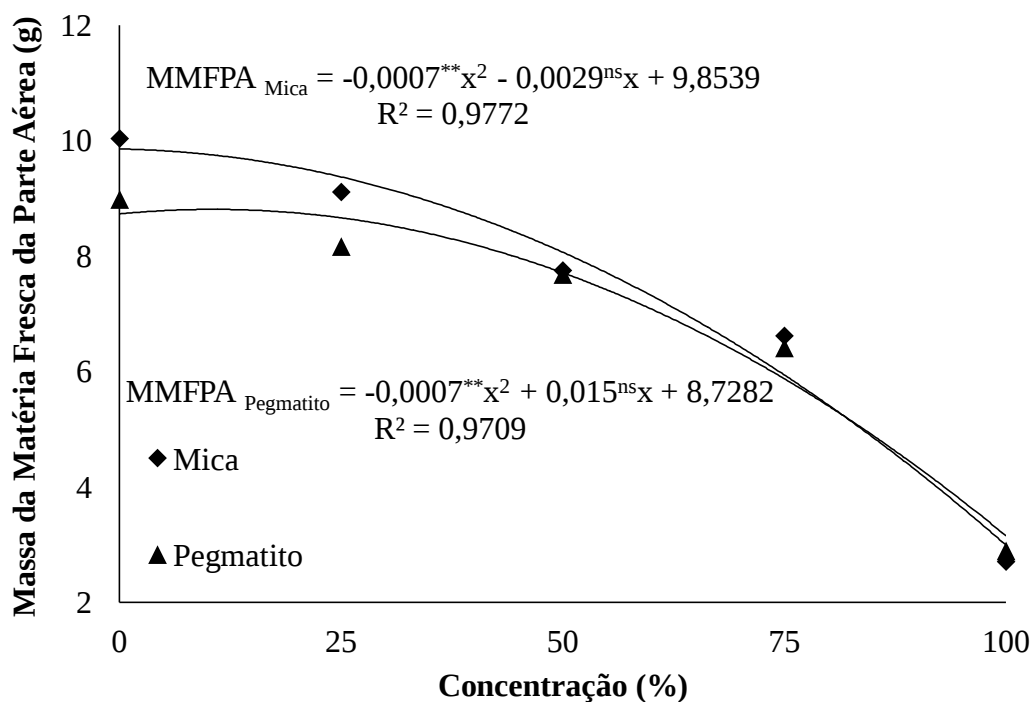
Para os tratamentos que possuem rejeitos do beneficiamento de pegmatito em sua composição, o número de folhas foi reduzido pela elevação da concentração de pegmatito nos tratamentos, tendo a variável em análise sido reduzida em 0,0338 folhas a cada aumento de 1% da concentração.

Observamos que, com relação ao tratamento T. 06 – Pegmatito 0% (controle) houve decréscimos de 6,94; 13,88; 20,81 e 27,75% no número de folhas das cultivadas com as concentrações de 25; 50; 75 e 100% de rejeitos de pegmatito, respectivamente.

5.1.4 Massa da Matéria Fresca da Parte Aérea (MMFPA)

Na Figura 31 apresenta-se o desdobramento da concentração dentro de cada tipo de rejeito, por meio dos gráficos do efeito das concentrações dos rejeitos do beneficiamento de mica e de pegmatitos sobre a variável massa da matéria fresca da parte aérea.

Figura 31 – Efeito das concentrações de rejeitos de mica e de pegmatitos presentes nos tratamentos aplicados no experimento na Massa da Matéria Fresca da Parte Aérea



Fonte: O autor (2020); * = significativo ao nível de 0,05 de probabilidade; ** = significativo ao nível de 0,01 de probabilidade; ns = não significativo.

Houve efeito significativo das concentrações dos rejeitos do beneficiamento de mica e de pegmatito, sobre a massa da matéria fresca da parte aérea, com modelo de regressão quadrático, ajustando-se significativamente ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$), para ambos os rejeitos.

Para os rejeitos do beneficiamento de mica, a massa da matéria fresca da parte aérea máxima estimada, por meio do modelo de regressão quadrático, foi de **9,86 g**, obtido na concentração de **-2,24 %**. Esta concentração, para a qual foi estimado o valor máximo da variável em análise apresentou valor negativo, o que do ponto de vista matemático é possível.

No entanto, na prática, é impossível aplicarmos uma concentração negativa na composição dos tratamentos, pois os valores possíveis para a concentração (X) são valores maiores ou iguais a 0% e menores ou iguais a 100% ($0 \leq X \leq 100$).

Dessa forma a máxima massa da matéria fresca da parte aérea estimada, dentro da faixa de concentração possível, foi de **9,85 g**, correspondente à concentração de **0%** e o menor valor dessa variável para os rejeitos de mica foi de 3,00 g, obtido na concentração de 100%, apresentando uma diferença de 228,33% para o valor máximo estimado.

No caso dos rejeitos de pegmatito, a máxima massa da matéria fresca da parte aérea estimada foi de **8,81 g**, obtida na concentração de **10,60%** e a menor foi de 3,16,

correspondente à concentração de 100%, apresentando uma diferença de 178,80% entre o menor e o maior valor estimado.

Os resultados estimados indicam que a massa da matéria fresca da parte aérea foi influenciada negativamente pela utilização dos rejeitos de mica, pois a partir da concentração 0% (valor mínimo possível da concentração), verificamos que houve redução nos valores estimados da referida variável à medida que aumentamos a concentração desse rejeito.

Com relação aos rejeitos do beneficiamento de pegmatito, os resultados estimados indicam que a variável massa da matéria fresca da parte aérea, foi influenciada positivamente até a concentração de 10,60%, concentração na qual foi obtido o valor máximo estimado da variável em análise, e a partir da qual a referida variável foi influenciada negativamente pelo aumento na concentração dos rejeitos.

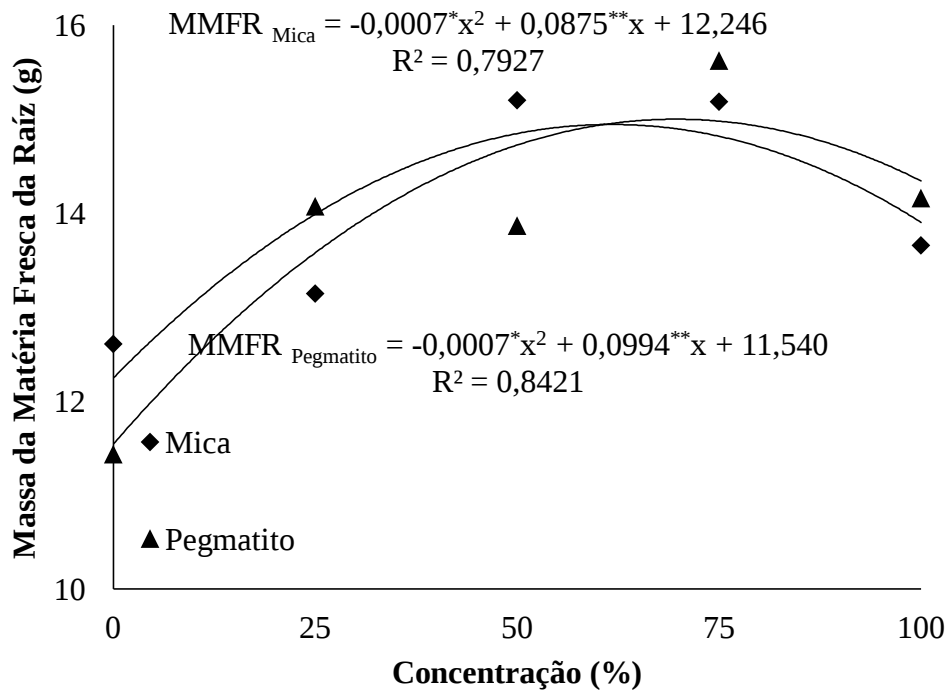
Para os tratamentos que possuem rejeitos do beneficiamento de mica em sua composição, observamos que os valores estimados da massa da matéria fresca da parte aérea apresentaram, com relação ao tratamento T. 01 - Mica 0% (controle), decréscimos de 4,91; 18,14; 39,69 e 69,56%, nas concentrações de 25; 50; 75 e 100%, respectivamente.

No caso dos tratamentos que possuem rejeitos do beneficiamento de pegmatito em sua composição, observamos que, com relação ao tratamento T. 06 – Pegmatito 0% (testemunha), houve decréscimos de 0,77; 11,67; 32,69 e 63,84% na massa da matéria fresca da parte aérea das mudas cultivadas com as concentrações de 25; 50; 75 e 100% de rejeitos de pegmatito, respectivamente.

5.1.5 Massa da Matéria Fresca da Raiz (MMFR)

Na Figura 32 apresenta-se o desdobramento da concentração dentro de cada tipo de rejeito, por meio dos gráficos do efeito das concentrações dos rejeitos do beneficiamento de mica e de pegmatitos sobre a variável massa da matéria fresca da raiz.

Figura 32 – Efeito das concentrações de rejeitos de mica e de pegmatitos presentes nos tratamentos aplicados no experimento na Massa da Matéria Fresca da Raiz



Fonte: O autor (2020); * = significativo ao nível de 0,05 de probabilidade; ** = significativo ao nível de 0,01 de probabilidade; ns = não significativo.

Houve efeito significativo das concentrações dos rejeitos do beneficiamento de mica e de pegmatito, sobre a massa da matéria fresca da raiz, com modelo de regressão quadrático, ajustando-se significativamente ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0,05$), para os dois tipos de rejeitos.

Para os rejeitos do beneficiamento de mica, a máxima massa da matéria fresca da raiz estimada foi de **14,95 g**, obtida na concentração de **61,72%** e a menor foi de 12,25 g, correspondente à concentração de 0% de rejeitos de mica, apresentando uma diferença de 22,04 % para o valor máximo estimado.

No caso dos rejeitos de pegmatito o valor máximo estimado da variável em estudo foi de **15,00 g**, obtido na concentração de **69,59%** e o menor foi de 11,54 g, correspondente à concentração de 0% de rejeitos de pegmatito, apresentando uma diferença de 29,98% para a máxima massa da matéria fresca da raiz estimada.

Os resultados estimados indicam que a variável massa da matéria fresca da raiz foi influenciada positivamente até a concentração de 61,72%, com relação aos rejeitos do beneficiamento de mica e até a concentração de 69,59% para os rejeitos de pegmatito, concentrações estas, nas quais foram obtidos os máximos valores estimados da variável em

análise, para os rejeitos do beneficiamento de mica e de pegmatito, respectivamente, e a partir das quais a referida variável foi influenciada negativamente, para ambos os rejeitos.

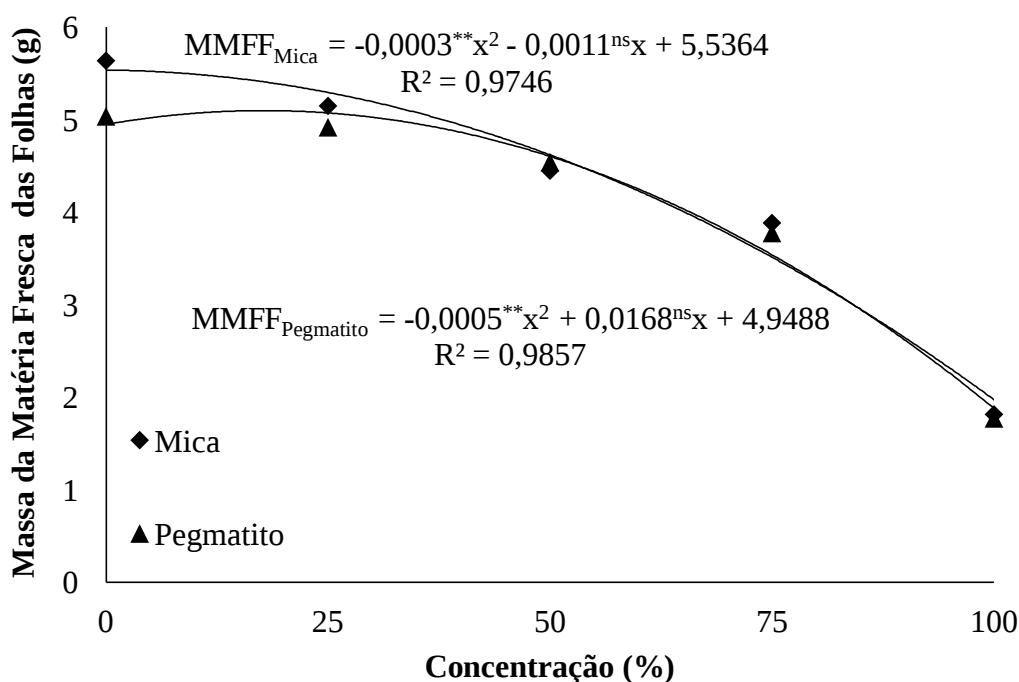
Para os tratamentos que possuem rejeitos do beneficiamento de mica em sua composição, observamos que os valores estimados da massa da matéria fresca da raiz apresentaram com relação ao tratamento T. 01 - Mica 0% (controle), acréscimos de 14,25; 21,26; 21,03 e 13,57%, nas concentrações de 25; 50; 75 e 100%, respectivamente.

No caso dos tratamentos que possuem rejeitos do beneficiamento de pegmatito em sua composição, observamos que, com relação ao tratamento T. 06 – Pegmatito 0% (controle) houve acréscimos de 17,66; 27,59; 29,78 e 24,24% na massa da matéria fresca da raiz das mudas cultivadas com as concentrações de 25; 50; 75 e 100% de rejeitos de pegmatito, respectivamente.

5.1.6 Massa da Matéria Fresca das Folhas (MMFF)

Na Figura 33 apresenta-se o desdobramento da concentração dentro de cada tipo de rejeito, por meio dos gráficos do efeito das concentrações dos rejeitos do beneficiamento de mica e de pegmatitos sobre a variável massa da matéria fresca das folhas.

Figura 33– Efeito das concentrações de rejeitos de mica e de pegmatitos presentes nos tratamentos aplicados no experimento na Massa da Matéria Fresca das Folhas



Fonte: O autor (2020); * = significativo ao nível de 0,05 de probabilidade; ** = significativo ao nível de 0,01 de probabilidade; ns = não significativo.

Houve efeito significativo das concentrações dos rejeitos do beneficiamento de mica e de pegmatito, sobre a massa da matéria fresca das folhas, com modelo de regressão quadrático, ajustando-se significativamente ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$), tanto para os rejeitos de mica quanto para os de pegmatito.

Para os rejeitos do beneficiamento de mica, a máxima massa da matéria fresca das folhas estimada por meio do modelo de regressão quadrático, foi de **5,54 g**, obtido na concentração de **-1,53 %**. Assim como ocorrido com relação à MMFPA, a concentração, para a qual foi estimado o valor máximo da variável massa da matéria fresca das folhas apresentou valor negativo e, como dito anteriormente, do ponto de vista matemático é possível obter um valor negativo para a concentração no cálculo do valor máximo da variável. No entanto, do ponto de vista prático é impossível aplicarmos uma concentração negativa na composição dos tratamentos, pois os valores possíveis para a concentração (X) são valores maiores ou iguais a 0% e menores ou iguais a 100% ($0 \leq X \leq 100$).

Com isso, a máxima massa da matéria fresca das folhas estimada, dentro da faixa de concentração possível, foi de 5,54 g, correspondente à concentração de 0% e o menor valor dessa variável para os rejeitos de mica foi de 1,97 g, obtido na concentração de 100%, apresentando uma diferença de 181,22% para o valor máximo estimado.

No caso dos rejeitos de pegmatito, a máxima massa da matéria fresca das folhas estimada foi de **5,10 g**, obtida na concentração de **17,72%** e a menor foi de 1,88 g, correspondente à concentração de 100%, apresentando uma diferença de 171,28% entre o menor e o maior valor estimado.

Os resultados estimados indicam que a massa da matéria fresca das folhas foi influenciada negativamente pela utilização dos rejeitos de mica, pois a partir da concentração 0% (valor mínimo possível da concentração), verificamos que houve redução nos valores estimados da referida variável à medida que aumentamos a concentração desse rejeito.

Com relação aos rejeitos do beneficiamento de pegmatito, os resultados estimados indicam que a variável massa da matéria fresca das folhas, foi influenciada positivamente até a concentração de 17,72%, concentração na qual foi obtido o valor máximo estimado da variável em análise, e a partir da qual a variável em análise foi influenciada negativamente pelo aumento na concentração desses rejeitos.

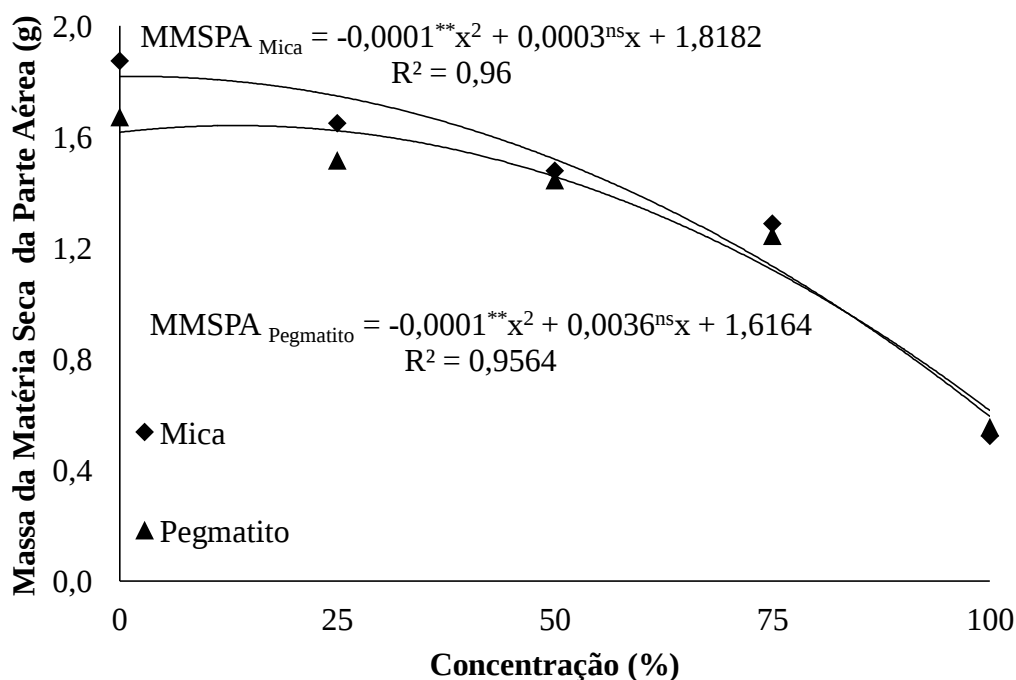
Para os tratamentos que possuem rejeitos do beneficiamento de mica em sua composição, observamos que os valores estimados da massa da matéria fresca das folhas apresentaram, com relação ao tratamento T. 01 - Mica 0% (controle), decréscimos de 4,38; 16,58; 36,59 e 64,41%, nas concentrações de 25; 50; 75 e 100%, respectivamente.

No caso dos tratamentos que possuem rejeitos do beneficiamento de pegmatito em sua composição, observamos que, com relação ao tratamento T. 06 – Pegmatito 0% (controle), houve um acréscimo de 2,51 %, na massa da matéria fresca das folhas, correspondente à concentração de 25%, e decréscimos de 6,99; 28,47 e 61,96%, nos valores estimados da variável em estudo, para as mudas cultivadas com as concentrações de 50; 75 e 100%, respectivamente.

5.1.7 Massa da Matéria Seca da Parte Aérea (MMSPA)

Na Figura 34 apresenta-se o desdobramento da concentração dentro de cada tipo de rejeito, por meio dos gráficos do efeito das concentrações dos rejeitos do beneficiamento de mica e de pegmatitos sobre a variável massa da matéria seca da parte aérea.

Figura 34 – Efeito das concentrações de rejeitos de mica e de pegmatitos presentes nos tratamentos aplicados no experimento na Massa da Matéria Seca da Parte Aérea



Fonte: O autor (2020); * = significativo ao nível de 0,05 de probabilidade; ** = significativo ao nível de 0,01 de probabilidade; ns = não significativo.

Houve efeito significativo das concentrações dos rejeitos do beneficiamento de mica e de pegmatito, sobre a massa da matéria seca da parte aérea, com modelo de regressão quadrático, ajustando-se significativamente ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$), para ambos os rejeitos.

Para os rejeitos do beneficiamento de mica, a máxima massa da matéria seca da parte aérea estimada foi de **1,82 g**, obtida na concentração de **1,23%** e a menor foi de 0,59 g, correspondente à concentração de 100% de rejeitos de mica, apresentando uma diferença de 208,47 % para o valor máximo estimado.

No caso dos rejeitos de pegmatito o valor máximo estimado da variável em estudo foi de **1,64 g**, obtido na concentração de **13,31%** e o menor foi de 0,61 g, correspondente à concentração de 100% de rejeitos de pegmatito, apresentando uma diferença de 168,85% para a máxima massa da matéria seca da parte aérea.

Os resultados estimados indicam que a variável massa da matéria seca da parte aérea foi influenciada positivamente até a concentração de 1,23%, com relação aos rejeitos do beneficiamento de mica e até a concentração de 13,31% para os rejeitos de pegmatito, concentrações estas, nas quais foram obtidos os máximos valores estimados da variável em discussão, para os rejeitos do beneficiamento de mica e de pegmatito, respectivamente, e a partir das quais a referida variável foi influenciada negativamente, para ambos os rejeitos.

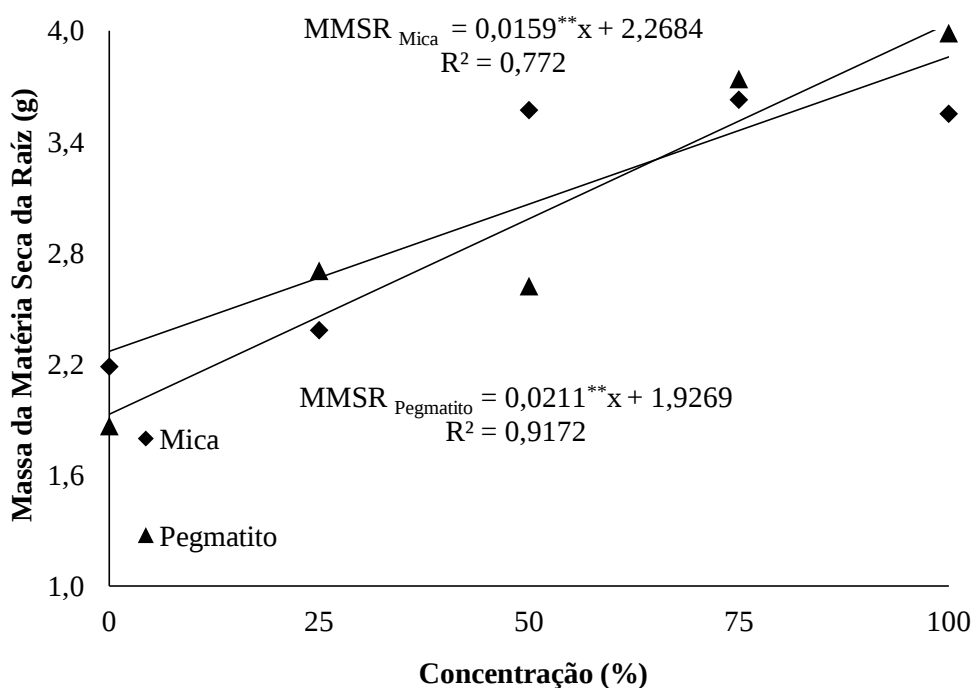
Para os tratamentos que possuem rejeitos do beneficiamento de mica em sua composição, observamos que os valores estimados da massa da matéria seca da parte aérea apresentaram com relação ao tratamento T. 01 - Mica 0% (controle), decréscimos de 3,91; 16,47; 37,70 e 67,60%, nas concentrações de 25; 50; 75 e 100%, respectivamente.

No caso dos tratamentos que possuem rejeitos do beneficiamento de pegmatito em sua composição, observamos que, com relação ao tratamento T. 06 – Pegmatito 0% (controle) houve um acréscimo de 0,34%, na massa da matéria seca da parte aérea, correspondente à concentração de 25%, e decréscimos de 9,91; 30,75 e 62,19%, nos valores estimados da variável em estudo, para as concentrações de 50; 75 e 100%, respectivamente.

5.1.8 Massa da Matéria Seca da Raiz (MMSR)

Na Figura 35 apresenta-se o desdobramento da concentração dentro de cada tipo de rejeito, por meio dos gráficos do efeito das concentrações dos rejeitos do beneficiamento de mica e de pegmatitos sobre a variável massa da matéria seca da raiz.

Figura 35 – Efeito das concentrações de rejeitos de mica e de pegmatitos presentes nos tratamentos aplicados no experimento na Massa da Matéria Seca da Raiz



Fonte: O autor (2020); * = significativo ao nível de 0,05 de probabilidade; ** = significativo ao nível de 0,01 de probabilidade; ns = não significativo.

Houve efeito significativo das concentrações dos rejeitos do beneficiamento de mica e de pegmatito, sobre a massa da matéria seca da raiz, com modelo de regressão linear, ajustando-se significativamente ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$), para ambos os rejeitos.

Os resultados estimados indicam que a variável massa da matéria seca da parte aérea foi influenciada positivamente, com o modelo de regressão linear crescente ajustando-se à variável em discussão, tanto para os rejeitos de mica quanto para os de pegmatito.

Com relação aos rejeitos de mica, houve um incremento de 0,016 g na massa da matéria seca da raiz, para cada acréscimo de 1% na concentração do referido rejeito. No caso dos rejeitos de pegmatito observou-se um incremento de 0,021 g na massa da matéria seca da raiz, para cada aumento de 1% na concentração desse rejeito.

Para os rejeitos do beneficiamento de mica, a máxima massa da matéria seca da raiz estimada foi de **3,86 g**, obtida na concentração de **100%** e a menor foi de 2,27 g, correspondente à concentração de 0% de rejeitos de mica, apresentando aumento de 70,13 % entre o menor e o maior valor da variável em estudo.

Com relação aos rejeitos de pegmatito o valor máximo estimado da variável em estudo foi de **4,04 g**, obtido na concentração de **100%** e o menor foi de 1,93 g, correspondente à

concentração de 0% de rejeitos de pegmatito, apresentando um aumento de 109,64 % entre a menor e a maior massa da matéria seca da raiz.

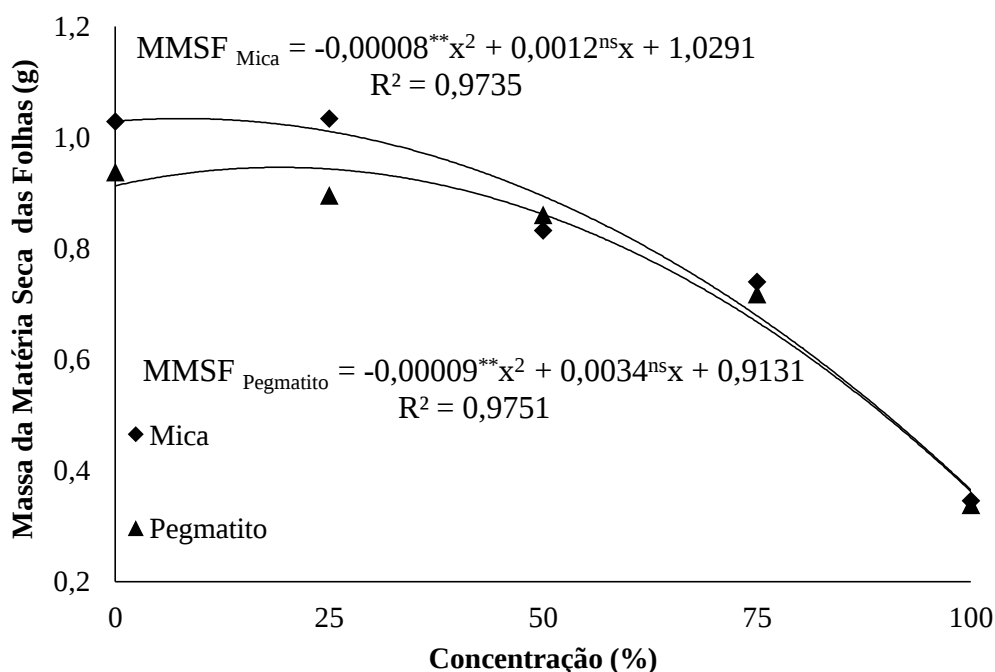
Observamos que os valores estimados da massa da matéria seca da raiz, para os tratamentos que possuem rejeitos de beneficiamento de mica em sua composição, apresentaram com relação ao tratamento T. 01 - Mica 0% (controle), acréscimos de 17,53; 35,06; 52,60 e 70,13 %, nas concentrações de 25; 50; 75 e 100%, respectivamente.

No caso dos tratamentos que possuem rejeitos do beneficiamento de pegmatito em sua composição, observamos que, com relação ao tratamento T. 06 – Pegmatito 0% (controle) houve acréscimos de 27,41; 54,82; 82,23 e 109,64%, na massa da matéria seca da raiz das mudas cultivadas com as concentrações de 25; 50; 75 e 100% de rejeitos de pegmatito, respectivamente.

5.1.9 Massa da Matéria Seca das Folhas (MMSF)

Na Figura 36 apresenta-se o desdobramento da concentração dentro de cada tipo de rejeito, por meio dos gráficos do efeito das concentrações dos rejeitos do beneficiamento de mica e de pegmatitos sobre a variável massa da matéria seca das folhas.

Figura 36 – Efeito das concentrações de rejeitos de mica e de pegmatitos presentes nos tratamentos aplicados no experimento na Massa da Matéria Seca das Folhas



Fonte: O autor (2020); * = significativo ao nível de 0,05 de probabilidade; ** = significativo ao nível de 0,01 de probabilidade; ns = não significativo.

Houve efeito significativo das concentrações dos rejeitos do beneficiamento de mica e de pegmatito, sobre a massa da matéria seca das folhas, com modelo de regressão quadrático, ajustando-se significativamente ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$), para ambos os rejeitos.

Para os rejeitos do beneficiamento de mica, a máxima massa da matéria seca das folhas estimada foi de **1,03 g**, obtida na concentração de **7,89%** e a menor foi de 0,36 g, correspondente à concentração de 100% de rejeitos de mica, apresentando uma diferença de 186,11 % para o valor máximo estimado.

No caso dos rejeitos de pegmatito o valor máximo estimado da variável em estudo foi de **0,95 g**, obtido na concentração de **19,33%** e o menor foi de 0,37 g, correspondente à concentração de 100% de rejeitos de pegmatito, apresentando uma diferença de 156,76% para a o valor máximo estimado.

Os resultados estimados indicam que a variável massa da matéria seca das folhas foi influenciada positivamente até a concentração de 7,89%, com relação aos rejeitos do beneficiamento de mica e até a concentração de 19,33% para os rejeitos de pegmatito, concentrações estas, nas quais foram obtidos os máximos valores estimados da variável em discussão, para os rejeitos do beneficiamento de mica e de pegmatito, respectivamente, e a partir das quais a referida variável foi influenciada negativamente, para ambos os rejeitos.

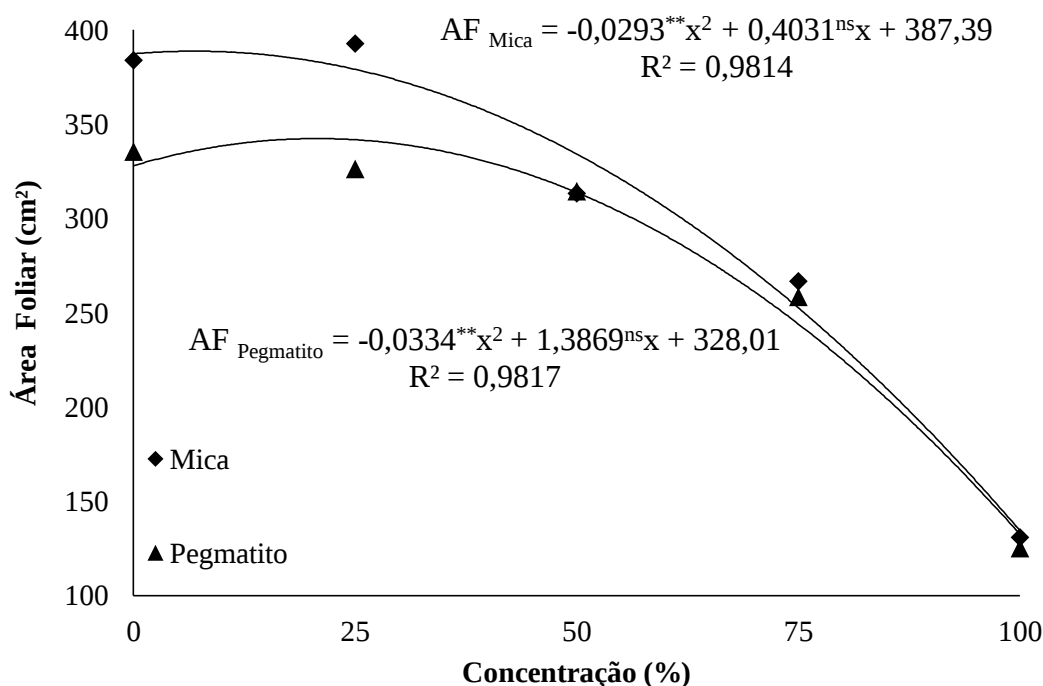
Para os tratamentos que possuem rejeitos do beneficiamento de mica em sua composição, observamos que os valores estimados da massa da matéria seca das folhas apresentaram com relação ao tratamento T. 01 - Mica 0% (controle), decréscimos de 1,77; 13,14; 34,10 e 64,66%, nas concentrações de 25; 50; 75 e 100%, respectivamente.

No caso dos tratamentos que possuem rejeitos do beneficiamento de pegmatito em sua composição, observamos que, com relação ao tratamento T. 06 – Pegmatito 0% (controle), houve um acréscimo de 3,33%, na massa da matéria seca das folhas, correspondente à concentração de 25%, e decréscimos de 5,53; 26,56 e 59,79%, nos valores estimados da variável em estudo, para as mudas cultivadas com as concentrações de 50; 75 e 100%, respectivamente.

5.1.10 Área Foliar (AF)

Na Figura 37 apresenta-se o desdobramento da concentração dentro de cada tipo de rejeito, por meio dos gráficos do efeito das concentrações dos rejeitos do beneficiamento de mica e de pegmatitos sobre a variável área foliar.

Figura 37 – Efeito das concentrações de rejeitos de mica e de pegmatitos presentes nos tratamentos aplicados no experimento na Área Foliar



Fonte: O autor (2020); * = significativo ao nível de 0,05 de probabilidade; ** = significativo ao nível de 0,01 de probabilidade; ns = não significativo.

Houve efeito significativo das concentrações dos rejeitos do beneficiamento de mica e de pegmatito, sobre a área foliar, com modelo de regressão quadrático, ajustando-se significativamente ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$), tanto para os rejeitos de mica quanto de pegmatito.

Para os rejeitos do beneficiamento de mica, a área foliar máxima estimada foi de **388,77 cm²**, obtido na concentração de **6,88 %** e o menor foi de 134,53 cm², correspondente à concentração de 100% de rejeitos de mica, apresentando uma diferença de 188,98% para o valor máximo estimado.

No caso dos rejeitos de pegmatito, a área foliar máxima estimada foi de **342,41 cm²**, obtida na concentração de **20,76%** e a menor foi de 132,61 cm², correspondente à concentração de 100% de rejeitos de pegmatito, apresentando uma diferença de 158,21 % para o valor máximo estimado.

Os resultados estimados indicam que a variável área foliar foi influenciada positivamente até a concentração de 6,88%, com relação aos rejeitos do beneficiamento de mica e até a concentração de 20,76% para os rejeitos de pegmatito, concentrações estas, nas quais foram obtidas as áreas foliares máximas estimadas, para os rejeitos do beneficiamento

de mica e de pegmatito, respectivamente, e a partir das quais a referida variável foi influenciada negativamente, para ambos os rejeitos.

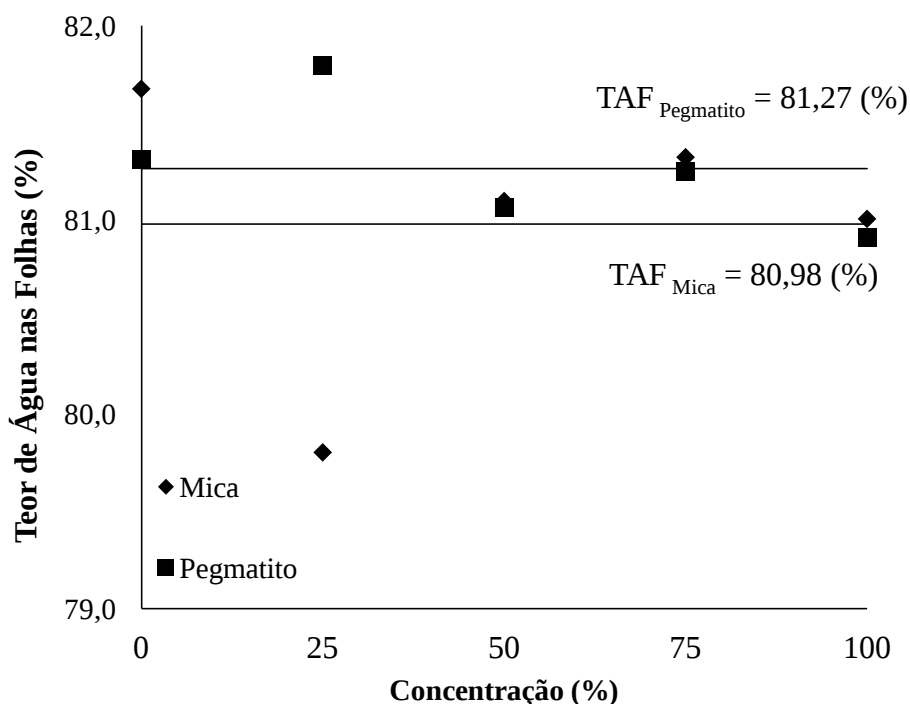
Para os tratamentos que possuem rejeitos do beneficiamento de mica em sua composição, observamos que os valores estimados de área foliar apresentaram, com relação ao tratamento T. 01 - Mica 0% (controle), decréscimos de 2,13; 13,72; 34,76 e 65,27%, nas concentrações de 25; 50; 75 e 100%, respectivamente.

No caso dos tratamentos que possuem rejeitos do beneficiamento de pegmatito em sua composição, observamos que, com relação ao tratamento T. 06 - Pegmatito 0% (controle) houve um acréscimo de 4,20%, na massa da matéria seca das folhas, correspondente à concentração de 25%, e decréscimos de 4,32; 25,58 e 59,57%, nos valores estimados da variável em estudo, para as mudas cultivadas com as concentrações de 50; 75 e 100%, respectivamente.

5.1.11 Teor de Água nas Folhas (TAF)

Na Figura 38 apresenta-se o desdobramento da concentração dentro de cada tipo de rejeito, por meio dos gráficos do efeito das concentrações dos rejeitos do beneficiamento de mica e de pegmatitos sobre a variável teor de água nas folhas.

Figura 38 – Efeito das concentrações de rejeitos de mica e de pegmatitos presentes nos tratamentos aplicados no experimento no Teor de Água nas Folhas



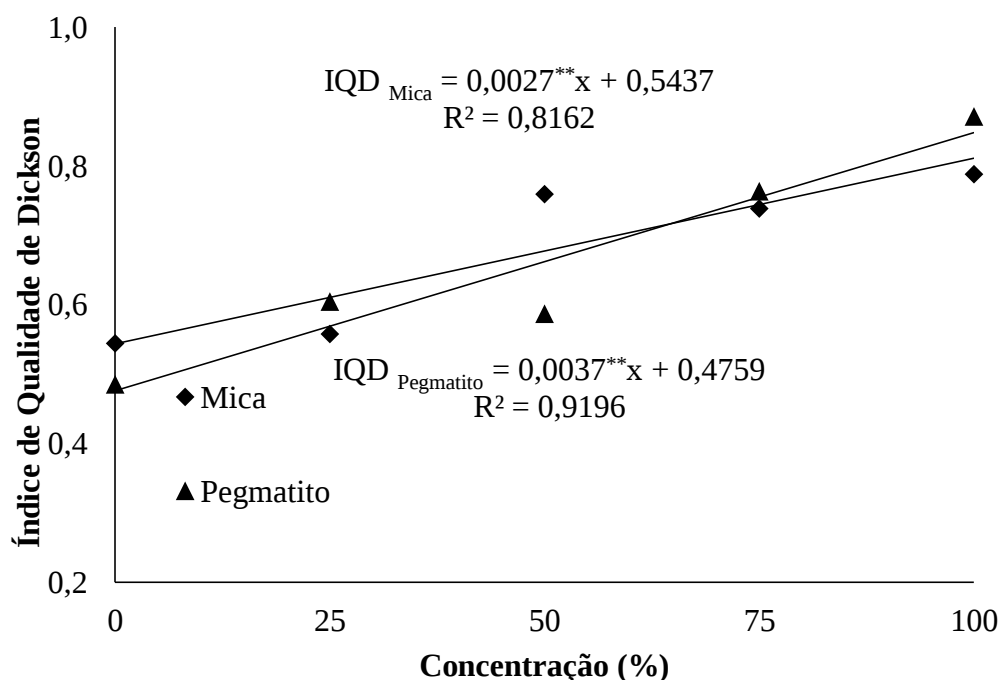
Fonte: O autor (2020).

Não houve efeito significativo das concentrações dos rejeitos do beneficiamento de mica e dos rejeitos de beneficiamento de pegmatito sobre o teor de água nas folhas. Para os tratamentos que possuem rejeitos do beneficiamento de mica em sua composição, o teor de água nas folhas médio estimado foi de 80,98%. No caso dos tratamentos que possuem rejeitos do beneficiamento de pegmatito em sua composição o teor de água nas folhas médio estimado foi de 81,27%.

5.1.12 Índice de Qualidade de Dickson (IQD)

Na Figura 39 apresenta-se o desdobramento da concentração dentro de cada tipo de rejeito, por meio dos gráficos do efeito das concentrações dos rejeitos do beneficiamento de mica e de pegmatitos sobre a variável Índice de Qualidade de Dickson.

Figura 39 – Efeito das concentrações de rejeitos de mica e de pegmatitos presentes nos tratamentos aplicados no experimento no Índice de Qualidade de Dickson



Fonte: O autor (2020); * = significativo ao nível de 0,05 de probabilidade; ** = significativo ao nível de 0,01 de probabilidade; ns = não significativo.

Houve efeito significativo das concentrações dos rejeitos do beneficiamento de mica e de pegmatito, sobre o Índice de Qualidade de Dickson, com modelo de regressão linear, ajustando-se significativamente ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$), para ambos os rejeitos.

Os resultados estimados indicam que o Índice de Qualidade de Dickson foi influenciado positivamente, com o modelo de regressão linear crescente ajustando-se à referida variável, tanto para os rejeitos de mica quanto para os de pegmatito.

Com relação aos rejeitos de mica, houve um incremento de 0,0027 no IQD, para cada acréscimo de 1% na concentração do referido rejeito. No caso dos rejeitos de pegmatito observou-se um incremento de 0,0037 no IQD, para cada aumento de 1% na concentração desse rejeito.

Para os rejeitos do beneficiamento de mica, o máximo valor estimado do Índice de Qualidade de Dickson foi de **0,81**, obtido na concentração de **100%** e o menor valor foi de 0,54, correspondente à concentração de 0% de rejeitos de mica, apresentando aumento de 49,17% entre o menor e o maior valor da variável em estudo.

Com relação aos rejeitos de pegmatito o valor máximo estimado da variável em estudo foi de **0,85**, obtido na concentração de **100%** e o menor foi de 0,48 g, correspondente à concentração de 0% de rejeitos de pegmatito, apresentando um aumento de 78,26 % entre a menor e a maior massa da matéria seca da raiz.

Observamos que os valores estimados do Índice de Qualidade de Dickson, para os tratamentos que possuem rejeitos de beneficiamento de mica em sua composição, apresentaram com relação ao tratamento T. 01 - Mica 0% (controle), acréscimos de 12,29; 24,58; 36,88 e 49,17 %, nas concentrações de 25; 50; 75 e 100%, respectivamente.

No caso dos tratamentos que possuem rejeitos do beneficiamento de pegmatito em sua composição, observamos que, com relação ao tratamento T. 06 – Pegmatito 0% (controle), houve acréscimos de 19,56; 39,13; 58,69 e 78,26%, no Índice de Qualidade de Dickson das mudas cultivadas com as concentrações de 25; 50; 75 e 100% de rejeitos de pegmatito, respectivamente.

5.2 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DAS AMOSTRAS DOS TRATAMENTOS AVALIADOS NO EXPERIMENTO

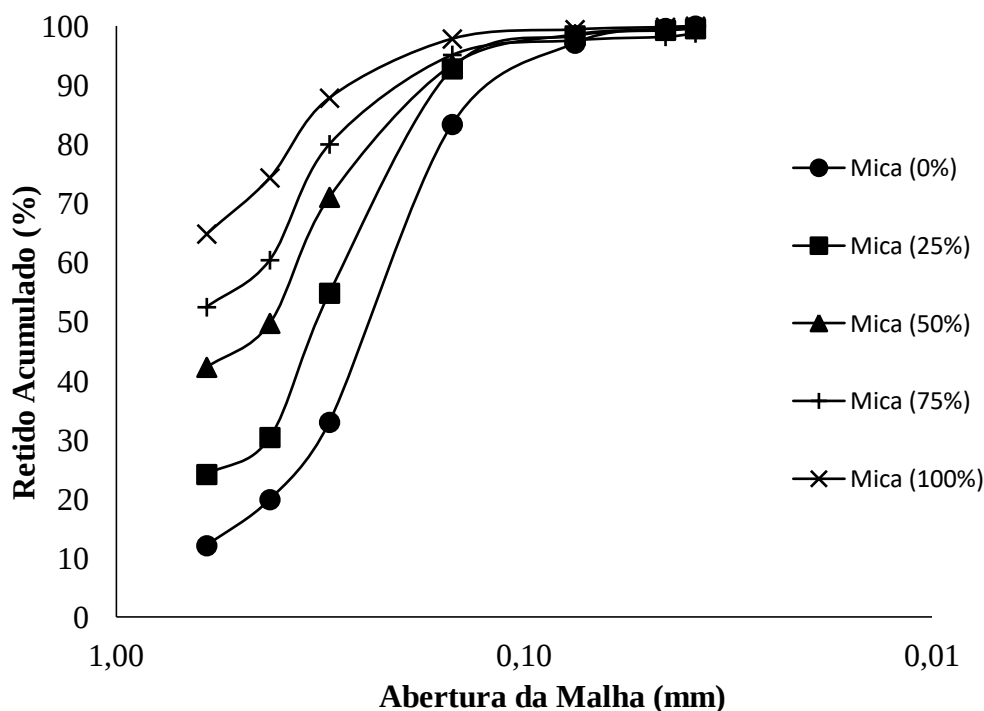
Nas subseções 5.2.1 e 5.2.2, a seguir, serão apresentadas as Análises Granulométricas das Amostras dos Tratamentos Compostos por Rejeitos do Beneficiamento da Mica e das Amostras dos Tratamentos Compostos por Rejeitos do Beneficiamento do Pegmatito, respectivamente.

5.2.1 Análise Granulométrica das Amostras dos Tratamentos Compostos por Rejeitos do Beneficiamento da Mica

Na Figura 40 são apresentados os gráficos de distribuição granulométrica das amostras dos Tratamentos T.01; T.02; T.03; T.04 e T.05, que possuem concentrações de rejeitos do beneficiamento de mica de 0%; 25%; 50%, 75% e 100%, respectivamente.

Para a realização da análise de distribuição granulométrica de cada um dos tratamentos foi utilizado o procedimento experimental de peneiramento a seco, no qual foi utilizada uma série de 07 peneiras com as seguintes aberturas: 0,6; 0,42; 0,3; 0,15; 0,075; 0,045 e 0,038 mm.

Figura 40 – Distribuição granulométrica das amostras dos tratamentos compostos por rejeitos do beneficiamento da mica



Fonte: O autor (2020).

A análise do gráfico da Figura 40 acima, permite observar que à medida que a concentração de rejeitos do beneficiamento de mica aumenta, com incrementos de 25%, de 0 a 100%, nos 5 (cinco) tratamentos de T. 01 - Mica (0%) a T.05 - Mica (100%), maior é o percentual de partículas retidas na malha de 0,6 mm, cujos percentuais de partículas retidas na referida malha são os seguintes: 12,04; 24,10; 42,24; 52,42 e 64,80%, respectivamente.

Na Tabela 5, a seguir, são apresentados os percentuais de partículas dos tratamentos compostos por rejeitos do beneficiamento de mica, divididas em 4 (quatro) faixas

granulométricas, são elas: - 2,00 mm a + 0,075mm; - 0,075 mm a +0,045 mm; -0,045 mm a +0,038 mm e -0,038mm.

Tabela 5 – Percentual de partículas retidas dos tratamentos T.01 a T.05 por faixas granulométricas

F.G.¹ (mm)	(-2,00 e +0,075)	(-0,075 e +0,045)	(-0,045 e +0,038)	(-0,038)	Total (%)
T.01	97,11%	2,50%	0,39%	0,00%	100
T.02	98,36%	0,92%	0,28%	0,44%	100
T.03	98,58%	0,80%	0,28%	0,34%	100
T.04	97,60%	0,60%	0,58%	1,22%	100
T.05	99,40%	0,40%	0,18%	0,02%	100

Fonte: O autor (2020); (1) F.G. - Faixa Granulométrica em mm.

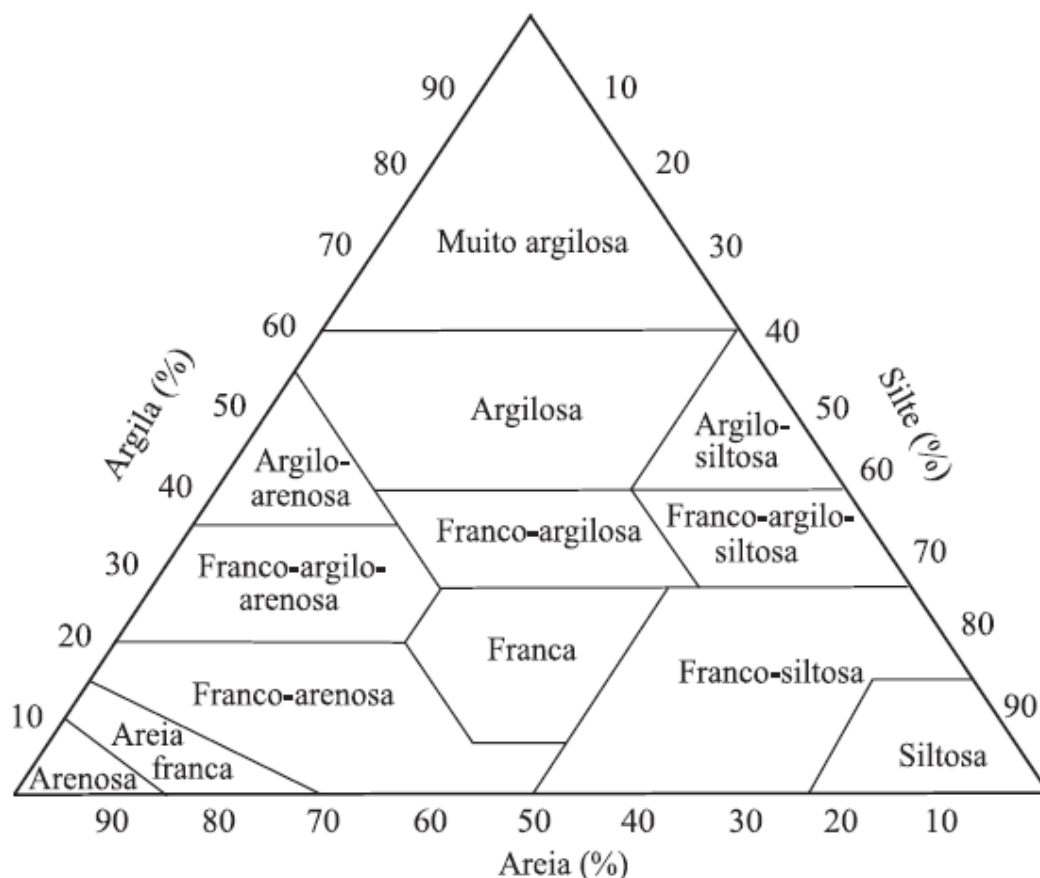
A análise o gráfico da Figura 40 e a Tabela 5 permite observar que os 5 (cinco) tratamentos, de T. 01 – Mica (0%) a T.05 – Mica (100%), apresentam 97,11; 98,36; 98,58; 97,60 e 99,40% das suas partículas na faixa granulométrica menor que 2,00 mm e maior que 0,075 mm, respectivamente.

De acordo com os resultados supracitados e tomando por base a classificação textural proposta pelo *United States Department of Agriculture* – USDA (1951) e por Lemos e Santos (1984), os tratamentos de T.01 – Mica (0%) a T.05 – Mica (100%) são classificados como pertencentes à classe textural Arenosa.

Tal afirmação se justifica pelo fato desses tratamentos apresentarem, no mínimo, 97,11; 98,36; 98,58; 97,60 e 99,40%, de suas partículas classificadas como areia, segundo a classificação de tamanho de partículas da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – (Embrapa,1979), e segundo Prado (1995), o solo possui textura arenosa quando o teor de argila + silte for menor ou igual a 15%, ou seja, se tivermos um teor de areia maior ou igual a 85%, teremos um solo com textura arenosa, como o ocorrido com os tratamentos T.01 a T.05, em análise.

Na Figura 41 podemos observar o triângulo de classificação textural de solos, de acordo com Lemos e Santos (1984), o qual utilizamos para determinar a qual classe textural pertencem os tratamentos T.01 a T.05.

Figura 41 - Triângulo de classificação textural de solos



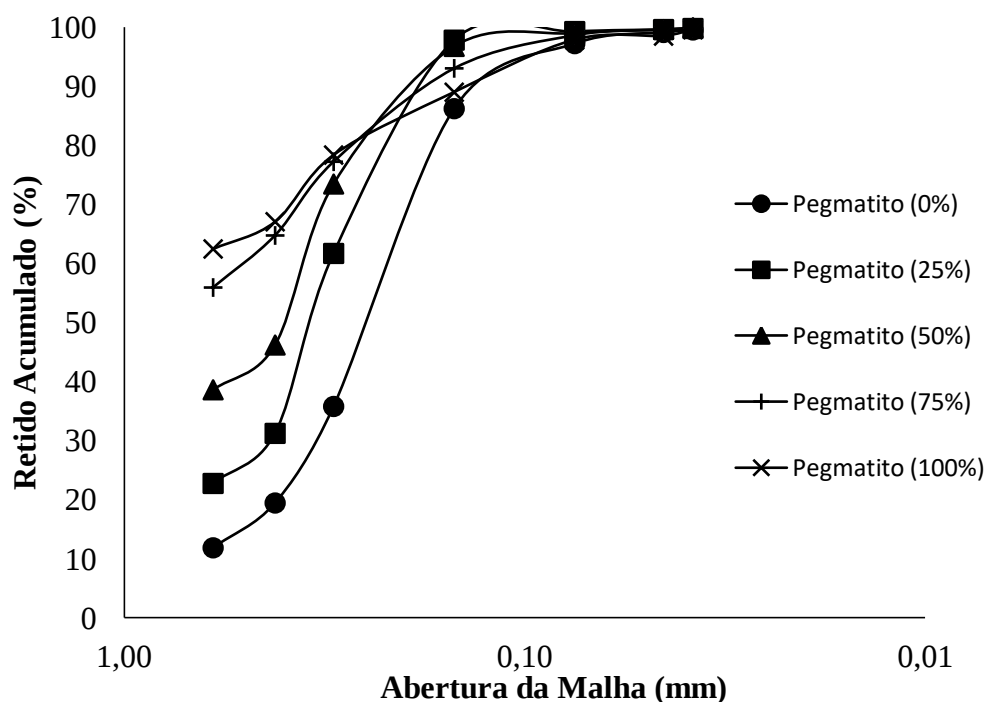
Fonte: Lemos & Santos, 1984.

5.2.2 Análise Granulométrica das Amostras dos Tratamentos Compostos por Rejeitos do Beneficiamento do Pegmatito

Na Figura 42, são apresentados os gráficos de distribuição granulométrica das amostras dos Tratamentos T.06; T.07; T.08; T.09 e T.10, que possuem concentrações de rejeitos do beneficiamento de pegmatito de 0%; 25%; 50%, 75% e 100%, respectivamente.

Para a realização da análise de distribuição granulométrica de cada um dos tratamentos foi utilizado o procedimento experimental de peneiramento a seco, no qual foi utilizada uma série de 07 (sete) peneiras com as seguintes aberturas: 0,6; 0,42; 0,3; 0,15; 0,075; 0,045 e 0,038 mm.

Figura 42 – Distribuição granulométrica das amostras dos tratamentos compostos por rejeitos do beneficiamento do pegmatito



Fonte: O autor (2020).

A análise do gráfico da Figura 42 acima, permite observar que à medida que a concentração de rejeitos do beneficiamento de pegmatito aumenta, com incrementos de 25%, de 0 a 100%, nos 5 (cinco) tratamentos de 0 a 100%, nos 5 (cinco) tratamentos de T. 06 – Pegmatito (0%) a T.10 – Pegmatito (100%), maior é o percentual de partículas retidas na malha de 0,6 mm, cujos percentuais de partículas retidas na referida malha são os seguintes: 11,84; 22,74; 38,60; 55,91 e 62,44%, respectivamente.

Na Tabela 6 a seguir são apresentados os percentuais de partículas dos tratamentos compostos por rejeitos do beneficiamento de pegmatito, divididas em 4 (quatro) faixas granulométricas, são elas: - 2,00 mm a + 0,075mm; - 0,075 mm a +0,045 mm; -0,045 mm a +0,038 mm e -0,038mm.

Tabela 6 – Percentual de partículas retidas dos tratamentos T.06 a T.10 por faixas granulométricas (continua)

F.G. ¹ (mm)	(-2,00 e +0,075)	(-0,075 e + 0,045)	(-0,045 e + 0,038)	(-0,038)	Total (%)
T.06	97,19%	1,89%	0,43%	0,49%	100
T.07	99,24%	0,34%	0,18%	0,24%	100

Tabela 6 – Percentual de partículas retidas dos tratamentos T.06 a T.10 por faixas granulométricas (conclusão)

F.G.¹ (mm)	(-2,00 e +0,075)	(-0,075 e + 0,045)	(-0,045 e + 0,038)	(-0,038)	Total (%)
T.08	98,96%	0,62%	0,32%	0,10%	100
T.09	98,62%	0,92%	0,26%	0,20%	100
T.10	97,83%	0,64%	1,08%	0,44%	100

Fonte: O autor (2020).

A análise do gráfico da Figura 42 e a Tabela 6 acima permite observar que os 5 (cinco) tratamentos, de T. 06 - Pegmatito (0%) a T.10 - Pegmatito (100%), apresentam 97,19; 99,24; 98,96; 98,62 e 97,83% das suas partículas na faixa granulométrica menor que 2,00 mm e maior que 0,075 mm, respectivamente.

De acordo com os resultados supracitados e tomando por base a classificação textural proposta pelo *United States Department of Agriculture* – USDA e por Lemos e Santos (1984), os tratamentos de T.06 – Pegmatito (0%) a T.10 - Pegmatito (100%) são classificados, como pertencentes à classe textural Arenosa.

Tal afirmação se justifica pelo fato desses tratamentos apresentarem, no mínimo, 97,19; 99,24; 98,96; 98,62 e 97,83%, de suas partículas classificadas como areia, segundo a classificação de tamanho de partículas da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – (Embrapa,1979).

Segundo Prado (1995), o solo possui textura arenosa quando o teor de argila + silte for menor ou igual a 15%, ou seja, se tivermos um teor de areia maior ou igual a 85%, teremos um solo com textura arenosa, como o ocorrido com os tratamentos T.06 a T.10, em análise. Da mesma forma como ocorreu na classificação textural dos tratamentos T.01 a T.05, também utilizamos o triângulo de classificação textural de solos, de Lemos e Santos (1984), para determinar a qual classe textural pertencem os tratamentos T.06 a T.10.

5.3 CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DOS REJEITOS DE BENEFICIAMENTO DE MICA E DE PEGMATITO

Nas subseções 5.3.1 e 5.3.2, a seguir, serão apresentados e discutidos os resultados das Análises Químicas e Mineralógicas dos rejeitos do beneficiamento de Mica e de Pegmatito,

realizadas por meio das técnicas de Fluorescência de Raios X (EDX) e Difração de Raios X (DRX), respectivamente.

5.3.1 Análise Química por Fluorescência de Raios X (EDX) dos Rejeitos do Beneficiamento de Mica e de Pegmatito

Na Tabela 7 estão discriminados os resultados da composição química da amostra dos rejeitos do beneficiamento de mica, caracterizada através dos ensaios de análise química por Fluorescência de Raios X (EDX). Os elementos químicos presentes na amostra estão expressos em termos percentuais, na forma de óxidos.

Tabela 7 – Composição química da amostra dos rejeitos de beneficiamento de mica

Compostos	Resultados (%)
SiO ₂	62,157
Al ₂ O ₃	25,122
K ₂ O	3,386
Fe ₂ O ₃	3,032
Na ₂ O	2,703
CaO	1,139
MgO	1,110
P ₂ O ₅	0,536
SO ₃	0,330
TiO ₂	0,226
MnO	0,189
Rb ₂ O	0,046
NbO	0,012
ZnO	0,011

Fonte: Relatório Técnico do Laboratório de Caracterização de Materiais – UFCG, 2020.

A análise dos resultados da análise química da amostra dos rejeitos do beneficiamento de mica permitiu verificar a presença dos mesmos elementos principais, expressos na forma de óxidos, da composição química de uma amostra padrão de muscovita, são eles: SiO₂, Al₂O₃, K₂O, Na₂O, MgO e H₂O. (MINERAL DATA PUBLISHING, VERSION 1.2, 2001).

Também foi verificada a presença de outros elementos químicos, igualmente expressos na forma de óxidos, foram eles: Fe₂O₃, CaO, TiO₂, MnO. Esses resultados obtidos, com relação aos elementos presentes, são semelhantes aos resultados da composição química

de uma amostra de muscovita rósea em pegmatito oriunda do Novo México – EUA. (NAVARRO et al., 2017).

Além desses elementos químicos já citados, também foi identificada a presença dos seguintes elementos químicos: P_2O_5 , SO_3 , Rb_2O , Nb e ZnO, sendo que os 3 (três) últimos se apresentaram em quantidades muito pequenas, 0,046%, 0,012% e 0,011%, respectivamente, conforme vimos na Tabela 7.

Comparando-se os percentuais dos elementos químicos presentes na amostra de rejeitos do beneficiamento de mica analisada neste trabalho com os resultados de composição química das micas observados na literatura, podemos destacar, principalmente, a maior presença de SiO_2 na amostra analisada neste trabalho.

Essa maior presença de SiO_2 pode ser justificada pelo fato que a amostra analisada trata-se do rejeito do beneficiamento de mica gerado a partir do processamento da rocha pegmatito, que apresenta como minerais principais em sua composição a própria mica e os minerais quartzo e feldspato.

Estes são minerais silicáticos com elevados percentuais de SiO_2 em suas composições químicas, 99,99% e 68,71% (Albita), respectivamente, o que contribuiu para o alto teor de SiO_2 obtido nesta análise, enquanto que os resultados apresentados na literatura se referem à composição química genérica de amostras do mineral mica (muscovita).

Medeiros; Gonzaga e Oliveira (2015) realizaram ensaios de caracterização tecnológica em uma amostra proveniente das mesmas pilhas de rejeito a partir das quais coletamos nossa amostra primária dos rejeitos do beneficiamento de mica gerado pela empresa de mineração, que denominamos de Empresa A.

Entre os ensaios realizados pelos supracitados autores está a análise granuloquímica, cujos resultados da amostra Global, sem considerar as faixas granulométricas, serão apresentados na Tabela 8 a seguir:

Tabela 8 – Resultados da análise química da amostra (global) de rejeitos do beneficiamento de mica (continua)

Compostos	Resultados (%)
SiO_2	68,70
Al_2O_3	19,50
K_2O	2,40
Fe_2O_3	0,71
Na_2O	5,20
CaO	0,52
MgO	0,25

Tabela 8 – Resultados da análise química da amostra (global) de rejeitos do beneficiamento de mica (conclusão)

Compostos	Resultados (%)
P ₂ O ₅	0,74
SO ₃	-
TiO ₂	-
MnO	0,25
Rb ₂ O	-
NbO	-
ZnO	-

Fonte: Adaptado de Medeiros, Gonzaga e Oliveira, 2015.

Comparando-se os resultados da análise química obtidos por Medeiros, Gonzaga e Oliveira (2015), com os resultados obtidos neste trabalho, verifica-se uma grande semelhança entre os mesmos, tanto no que diz respeito aos elementos químicos presentes, bem como com relação ao percentual com o qual cada um desses elementos se apresenta.

Essa grande semelhança já era algo esperado, visto que as amostras dos rejeitos do beneficiamento de mica analisadas, em ambos os trabalhos, foram coletadas a partir das mesmas pilhas de rejeitos da Empresa A.

No entanto, nos resultados apresentados pelos supracitados autores não se observou a presença dos seguintes elementos: SO₃, TiO₂, Rb₂O, NbO, ZnO. Alguns desses elementos constituem as principais soluções isomórficas (substituições isomórficas) que ocorrem na muscovita por meio da substituição do K por Rb, do Al^{IV} (octaédrico) por Ti, por exemplo. (NAVARRO et al., 2017).

As diferenças observadas entre os resultados da análise química obtidos neste trabalho e os obtidos por Medeiros, Gonzaga e Oliveira (2015), provavelmente se devem ao espaço temporal entre as coletas das amostras, visto que a coleta da amostra realizada pelos supracitados autores ocorreu no ano de 2015, enquanto que a coleta da amostra realizada para o presente trabalho ocorreu no final do ano de 2019. Dessa forma, a origem do minério processado nesse intervalo de tempo provavelmente foi de frentes de lavra diferentes, com isso, a partir de geologias distintas.

Na Tabela 9 estão discriminados os resultados da composição química da amostra dos rejeitos do beneficiamento de pegmatito, caracterizada através dos ensaios de análise química por Fluorescência de Raios X (EDX). Os elementos químicos presentes na amostra estão expressos em termos percentuais, na forma de óxidos.

Tabela 9 – Composição química da amostra dos rejeitos de beneficiamento de pegmatito

Compostos	Resultados (%)
SiO ₂	66,211
Al ₂ O ₃	22,393
K ₂ O	3,716
Na ₂ O	3,055
Fe ₂ O ₃	2,038
MgO	0,955
CaO	0,535
P ₂ O ₅	0,397
SO ₃	0,351
TiO ₂	0,168
MnO	0,124
Rb ₂ O	0,031
CuO	0,013
ZnO	0,007
NbO	0,007

Fonte: Relatório Técnico do Laboratório de Caracterização de Materiais – UFCG, 2020.

A análise dos resultados da análise química da amostra dos rejeitos do beneficiamento de pegmatito permite verificar que há uma grande semelhança entre os elementos químicos presentes e dos seus respectivos percentuais, com os resultados obtidos na análise química da amostra dos rejeitos de beneficiamento de mica, apresentados anteriormente.

Comparando-se os resultados das análises químicas das amostras dos rejeitos de beneficiamento da mica e de pegmatitos, gerados pelas Empresas A e B, respectivamente, observamos a presença dos mesmos elementos químicos em ambas as amostras, com apenas uma única exceção, a presença do CuO apenas na amostra dos rejeitos do beneficiamento de pegmatito.

Essa semelhança já era esperada visto que tanto os rejeitos do beneficiamento de mica, como os do beneficiamento de pegmatitos, gerados pelas supracitadas empresas, são originados a partir do processamento de Pegmatitos extraídos de jazidas localizadas na Província Pegmatítica da Borborema, nos estados da Paraíba e do Rio Grande do Norte, cujas geologias são semelhantes.

Dessa forma, o minério que alimenta as usinas de beneficiamento das duas empresas, por ser oriundo basicamente dos mesmos depósitos minerais, por vezes das mesmas frentes de lavra, apresentam composições químicas muito semelhantes.

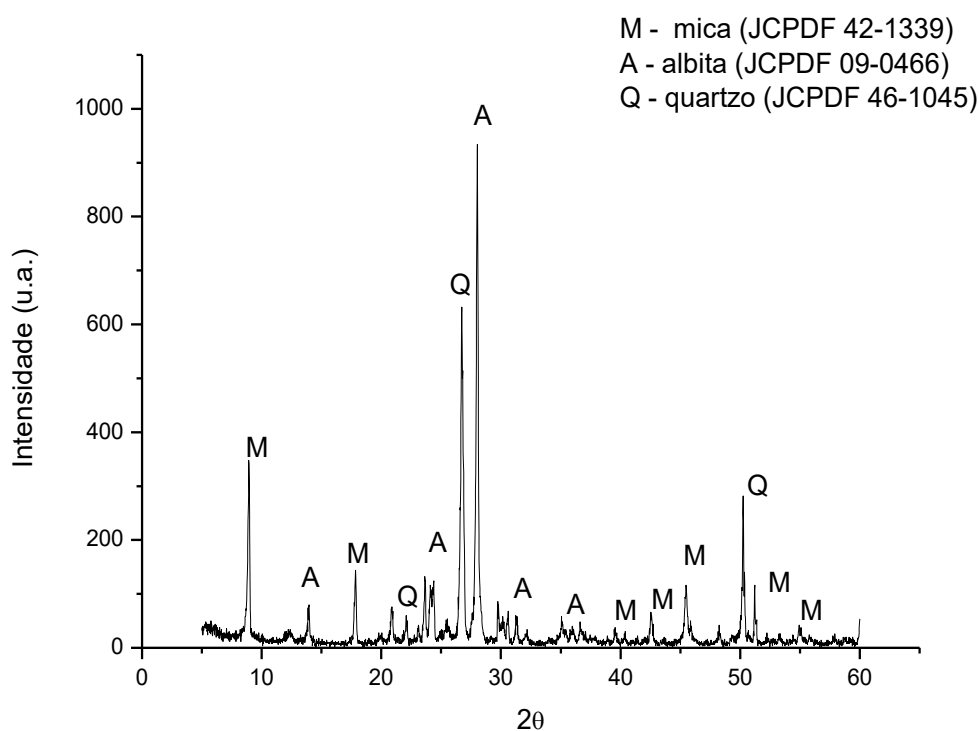
Como dito anteriormente as Empresas A e B beneficiam pegmatitos, no entanto os processos de beneficiamento realizados por essas empresas diferem entre si com relação aos minerais de interesse que são concentrados.

No caso da Empresa A, o mineral de interesse a ser beneficiado é apenas a mica (Muscovita), ocorrendo uma prévia seleção desse mineral já nas frentes de lavra do pegmatito, para alimentar a usina de beneficiamento. No caso da Empresa B, os minerais de interesse concentrados são: o quartzo, o feldspato (Albita) e a mica (Muscovita).

5.3.2 Análise Mineralógica por Difração de Raios X (DRX) dos Rejeitos do Beneficiamento de Mica e de Pegmatito

Nas Figuras 43 e 44 são apresentados os difratogramas das amostras dos rejeitos de beneficiamento de mica e de pegmatito, caracterizadas através do ensaio de análise mineralógica por Difração de Raios-X (DRX).

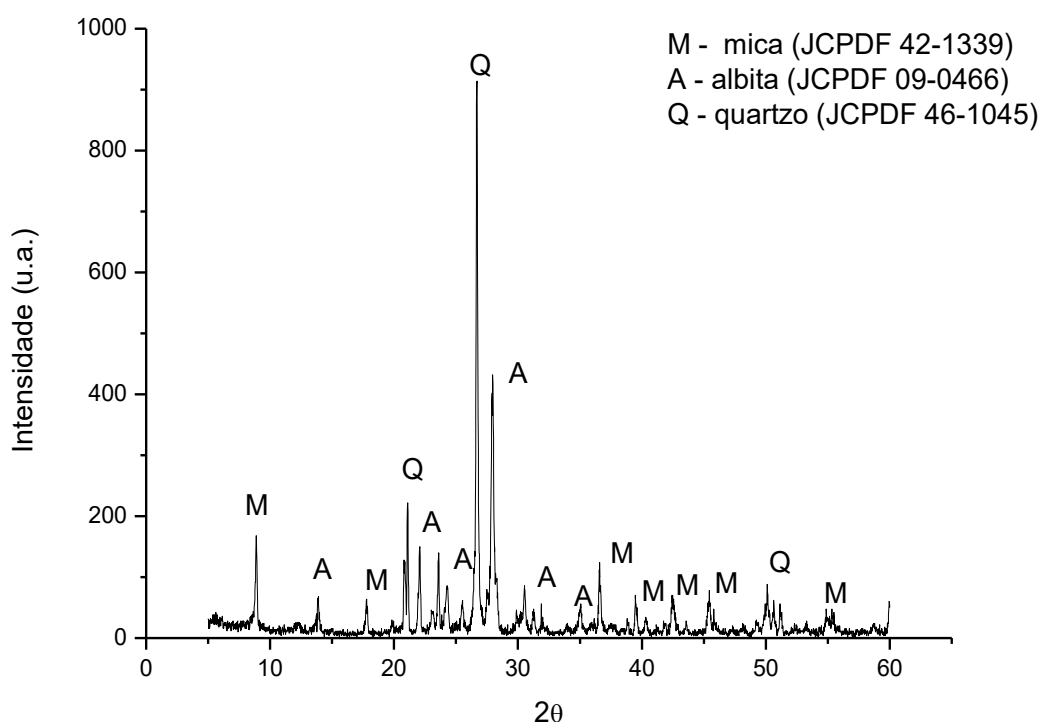
Figura 43 – Difratograma da amostra de rejeito de beneficiamento de mica



Fonte: Relatório Técnico do Laboratório de Caracterização de Materiais – UFCG, 2020.

No difratograma da amostra de rejeito de beneficiamento de mica, observa-se a presença das seguintes fases mineralógicas: mica (JCPDF 42-1339), albita (JCPDF 09-0466) e quartzo (JCPDF 46-1045), identificadas pela posição dos picos característicos desses minerais no difratograma. A posição do pico próximo a $2\theta = 8,48^\circ$ representa a localização do plano basal (001) característico da Muscovita.

Figura 44 – Difratograma da amostra de rejeito de beneficiamento de pegmatito



Fonte: Relatório Técnico do Laboratório de Caracterização de Materiais – UFCG, 2020.

No difratograma da amostra de rejeito de beneficiamento de pegmatito, observa-se a presença das seguintes fases mineralógicas: mica (JCPDF 42-1339), albita (JCPDF 09-0466) e quartzo (JCPDF 46-1045), identificadas pela posição dos picos característicos desses minerais no difratograma.

A presença dessas fases mineralógicas identificadas, nas referidas amostras, já era algo esperado, pelo fato do minério que alimenta ambas as usinas de beneficiamentos das empresas A e B, tratar-se da rocha pegmatito, cujos minerais essenciais na sua composição mineralógica são o quartzo, feldspato (nesse caso a albita) e a mica, conforme citado por Pereira, Almeida e Soares (2002).

Os preditos autores afirmam que os pegmatitos têm composição mineralógica essencial, similar à composição dos granitos: quartzo, feldspato e micas claras (muscovita e lepidolita), afirmação essa corroborada por Luz et al. (2003) que definem pegmatitos como corpos de rocha de composição basicamente granítica (quartzo-feldspato-mica). No entanto, vale ressaltar que, em ambas as amostras não se observou a presença de minerais acessórios.

Comparando-se os resultados da análise mineralógica por Difração de Raios-X (DRX) das amostras dos rejeitos do beneficiamento de mica e de pegmatito, verifica-se a presença das mesmas fases mineralógicas: mica, albita e quartzo, em ambas as amostras.

A presença das mesmas fases mineralógicas em ambas as amostras, se justifica pelo fato de tanto os rejeitos do beneficiamento de mica, como os do beneficiamento de pegmatitos, serem originados a partir do processamento de Pegmatitos extraídos de jazidas localizadas na Província Pegmatítica da Borborema, cujas geologias são semelhantes. Dessa forma, o minério que alimenta as usinas de beneficiamento das duas empresas, por ser oriundo basicamente dos mesmos depósitos minerais, por vezes das mesmas frentes de lavra, justifica a presença das mesmas fases mineralógicas em ambas as amostras.

Medeiros, Gonzaga e Oliveira (2015) realizaram a análise mineralógica por meio de Difração de Raios-X em uma amostra proveniente das mesmas pilhas de rejeito a partir das quais coletamos nossa amostra primária dos rejeitos do beneficiamento de mica.

Comparando-se os resultados obtidos pelos supracitados autores, para a amostra dos rejeitos de mica na fração granulométrica de 75 μm , com os resultados obtidos neste trabalho, verifica-se a presença dos minerais quartzo, albita e mica em ambas as amostras. No entanto, nos resultados obtidos pelos referidos autores foram identificadas as fases minerais leucita e hematita.

As diferenças observadas entre os resultados da análise mineralógica da amostra dos rejeitos do beneficiamento de mica neste trabalho e os obtidos por Medeiros, Gonzaga e Oliveira (2015), podem ser devidas às diferentes faixas granulométricas analisadas, que foi menor que 106 μm e maior 75 μm , no caso da amostra analisada pelos referidos autores, e menor que 74 μm no caso do presente trabalho.

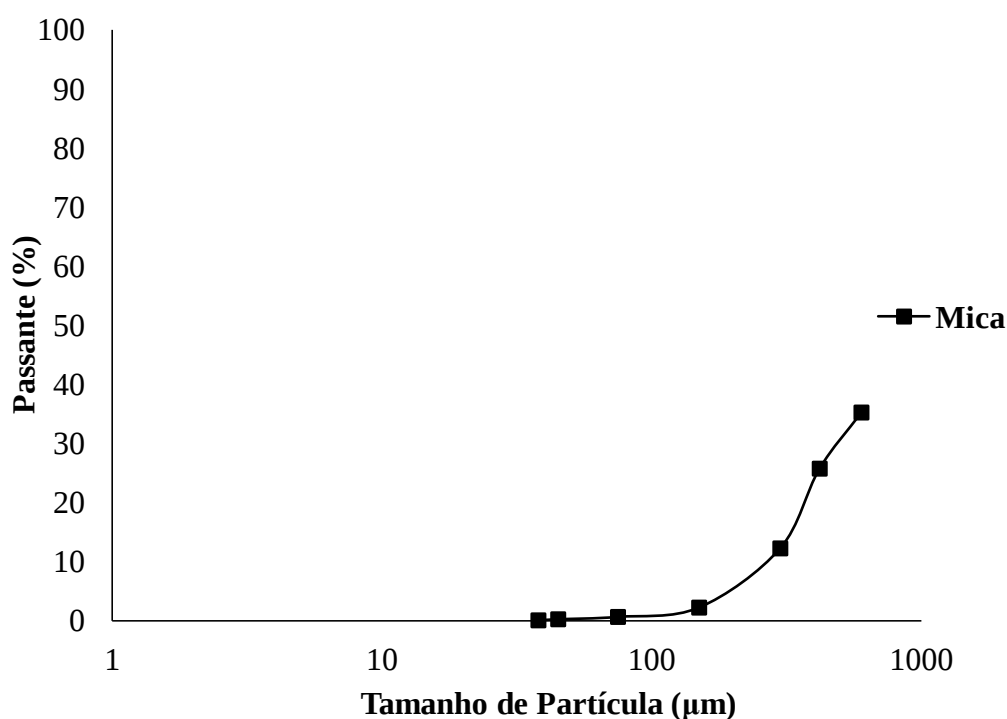
Também pode se dever ao espaço temporal entre as coletas das amostras, visto que a coleta da amostra realizada pelos supracitados autores ocorreu no ano de 2015, enquanto que a coleta da amostra realizada para o presente trabalho ocorreu no final do ano de 2019.

Dessa forma, a origem do minério processado nesse intervalo de tempo provavelmente foi de frentes de lavra diferentes, com isso, a partir de geologias distintas.

5.3.3 Análise Granulométrica dos Rejeitos do Beneficiamento de Mica e de Pegmatito

Na Figura 45 é apresentado o gráfico de distribuição granulométrica da amostra dos rejeitos do beneficiamento da mica, cuja análise de distribuição granulométrica foi realizada utilizando-se a técnica de peneiramento a seco.

Figura 45 – Distribuição granulométrica da amostra dos rejeitos do beneficiamento da mica



Fonte: O autor (2020).

A análise do gráfico da Figura 45 acima permite observar que 35,2% das partículas apresentam granulometria menor que 600 μm , portanto, 64,8% das partículas apresentam tamanho maior que 600 μm e observamos que apenas 0,02% das partículas possuem tamanho menor que 38 μm .

Medeiros, Gonzaga e Oliveira (2015) realizaram a análise granulométrica por meio de ensaio de peneiramento em uma amostra proveniente das mesmas pilhas de rejeito a partir das quais coletamos nossa amostra primária dos rejeitos do beneficiamento de mica, no referido ensaio utilizaram-se peneiras com as seguintes malhas: 300 μm ; 210 μm ; 150 μm ; 75 μm ; 45 μm e 38 μm .

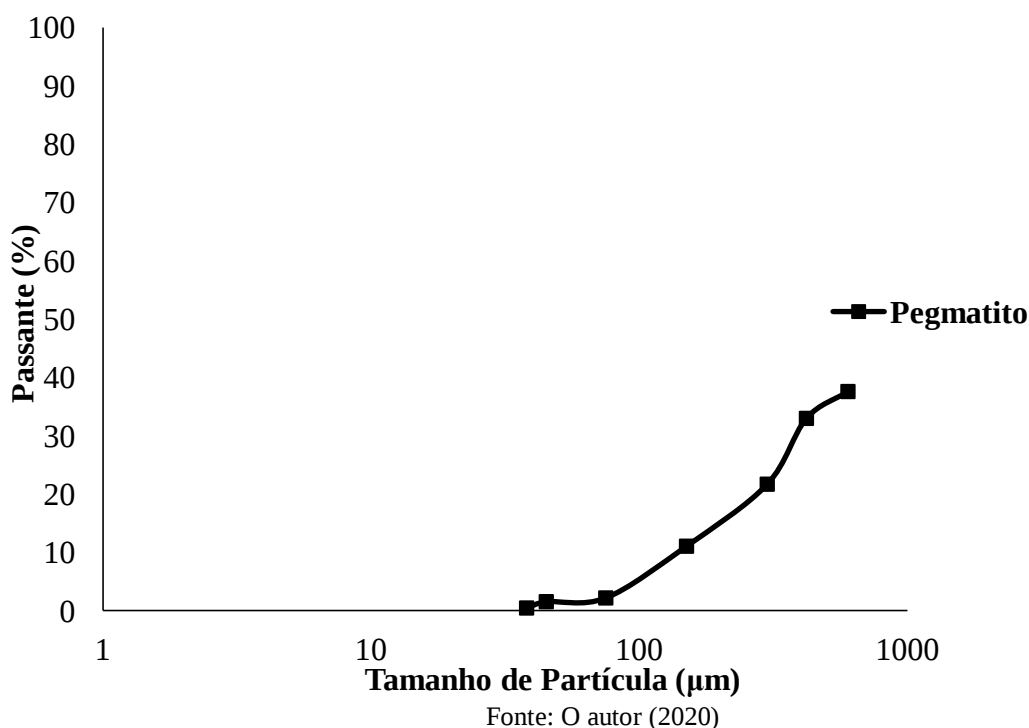
Comparando-se os resultados obtidos pelos supracitados autores com os resultados obtidos neste trabalho, verifica-se que 60% das partículas submetidas ao ensaio de peneiramento realizado pelos referidos autores possuíam tamanho menor que 150 μm ,

enquanto que no ensaio realizado no presente trabalho apenas 2,18% das partículas submetidas ao ensaio de peneiramento apresentaram tamanho de partícula abaixo de 150 μm .

Esse maior percentual de partículas passantes na malha de 150 μm se deve ao fato que antes da realização do ensaio de peneiramento os supramencionados autores submeteram a amostra dos rejeitos do beneficiamento de mica a etapas de cominuição, utilizando britadores de mandíbulas e cônicos, o que ocasionou a redução do tamanho das partículas da referida amostra, possibilitando, dessa forma, esse maior percentual de partículas abaixo de 150 μm .

Na Figura 46 é apresentado o gráfico de distribuição granulométrica da amostra dos rejeitos do beneficiamento do pegmatito, cuja análise de distribuição granulométrica foi realizada utilizando-se a técnica de peneiramento a seco.

Figura 46 – Distribuição granulométrica da amostra de rejeito de beneficiamento de pegmatito



A análise do gráfico da Figura 46 acima, permite observar que 37,6% das partículas apresentaram granulometria menor que 600 μm , portanto, 62,4% das partículas apresentaram tamanho maior que 600 μm e observamos que 0% das partículas possuem tamanho menor que 38 μm .

Comparando-se os resultados da análise da distribuição granulométrica da amostra dos rejeitos do beneficiamento da mica com os resultados análise da distribuição granulométrica da amostra dos rejeitos do beneficiamento do pegmatito, observamos que apenas 2,18% das

partículas da amostra dos rejeitos da mica apresentaram tamanho de partícula abaixo de 150 μm , enquanto que 11,08% das partículas da amostra dos rejeitos do pegmatito submetidas ao ensaio de peneiramento apresentaram tamanho de partícula abaixo de 150 μm .

Essa diferença de 8,9% de partículas passantes na malha de 150 μm , existente entre as amostras dos dois rejeitos analisados no presente trabalho, provavelmente se deve à maior quantidade de mica presente na amostra dos rejeitos do beneficiamento de mica realizado pela Empresa A, bem como ao hábito lamelar (placoso) que esse mineral possui, o que dificulta a passagem das suas partículas pela malha da peneira.

Enquanto que a amostra de rejeitos do beneficiamento de pegmatito realizado pela Empresa B, possui uma menor quantidade de mica que a amostra citada anteriormente e uma maior quantidade de partículas granulares de quartzo e feldspato (albita), com um grau de esfericidade maior que o das partículas de mica, o que acaba por facilitar a passagem dessas partículas pelas aberturas da malha da peneira.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O aproveitamento dos rejeitos do beneficiamento de mica e de pegmatito, gerados pelas empresas de mineração A e B, na composição de substratos aplicados no cultivo de mudas se mostrou possível, pois possibilitou a produção de mudas de *Moringa oleifera* Lam de qualidade, que apresentaram características morfológicas adequadas ao plantio em campo.

As máximas Massas da Matéria Seca da Raiz foram obtidas utilizando-se os tratamentos com as máximas concentrações de rejeitos, sendo eles: T.05 – Mica 100% e T. 10 – Pegmatito 100%.

Todas mudas produzidas utilizando-se rejeitos do beneficiamento de mica e de pegmatito apresentaram Índice de Qualidade de Dickson superiores a 0,2, que é o valor mínimo de referência para classificar mudas como sendo de boa qualidade.

Os valores estimados do Índice de Qualidade de Dickson, para os rejeitos de mica, foram de 0,61; 0,68; 0,74 e 0,81, nas concentrações de 25; 50; 75 e 100%, respectivamente. Para os rejeitos de pegmatito os valores do IQD foram de 0,48; 0,57; 0,66; 0,76 e 0,85, nas concentrações de 25; 50; 75 e 100%, respectivamente.

Valores mais elevados do IQD indicam mudas com um maior índice de robustez e melhor equilíbrio da distribuição da fitomassa, consequentemente, com melhor qualidade, em outras palavras, quanto maior o IQD melhor o padrão de qualidade da muda.

Com isto, podemos afirmar que mudas de melhor qualidade foram obtidas utilizando-se os tratamentos com as máximas concentrações de cada um dos tipos de rejeitos, sendo eles: T.05 – Mica 100% e T. 10 – Pegmatito 100%, concentrações estas, nas quais foram obtidos os maiores valores de IQD, para ambos os rejeitos.

Apesar das concentrações máximas dos rejeitos do beneficiamento de mica (T.05 – 100% de Mica) e de pegmatitos (T.10 – 100% de Pegmatito) terem permitido à obtenção dos máximos valores da Massa da Matéria Seca da Raiz e do Índice de Qualidade de Dickson, nestas concentrações foram observados os menores valores das variáveis: Altura de Planta; Diâmetro do Coleto; Número de Folhas; Massa da Matéria Fresca e Seca da Parte Aérea; Massa da Matéria Fresca e Seca das Folhas e Área Foliar.

Os mínimos valores da variável Massa da Matéria Seca da Parte Aérea e principalmente os máximos valores da variável Massa da Matéria Seca das Raízes obtidos nas máximas concentrações dos rejeitos do beneficiamento de mica (T.05 – Mica 100%) e de pegmatito (T. 10 – Pegmatito 100%), permitiram a obtenção de uma relação MMSPA/MMSR decrescente e foram responsáveis pela obtenção dos maiores valores da variável Índice de

Qualidade de Dickson nas máximas concentrações de ambos rejeitos. Tendo sido a MMSR a variável que exerceu maior influência para a obtenção de valores crescente de IQD, para os dois tipos de rejeitos.

Sugere-se a realização de trabalhos futuros para avaliar a qualidade das mudas produzidas, utilizando-se rejeitos do beneficiamento de mica e de pegmatito na composição dos substratos, por meio da avaliação da sobrevivência e do crescimento das mesmas no campo após o plantio.

No que diz respeito à caracterização química, observamos uma grande semelhança entre as amostras dos dois tipos de rejeitos, com relação aos elementos químicos presentes e aos respectivos percentuais com os quais se apresentam. Com relação à caracterização mineralógica, constatamos a presença das mesmas fases mineralógicas (mica, albita e quartzo) em ambas as amostras.

A semelhança entre os elementos químicos, os percentuais com os quais eles se apresentam e a presença das mesmas fases mineralógicas em ambas as amostras já era algo esperado, e se justifica pelo fato dos minérios processados nas usinas de beneficiamento das duas empresas serem provenientes de pegmatitos extraídos de jazidas localizadas próximas umas às outras, na Província Pegmatítica da Borborema, portanto de depósitos com geologias semelhantes.

No que se refere à caracterização granulométrica, verificamos percentuais semelhantes de partículas retidas na malha de 600 μm , para ambas as amostras de rejeitos, e um maior percentual de partículas de rejeitos do beneficiamento de mica retido na fração de 150 μm , quando comparado ao percentual de partículas de rejeitos de pegmatito retido na mesma malha. Isso se deve à maior presença do mineral mica na primeira amostra, e ao seu hábito lamelar (placoso), que dificulta a passagem dessas partículas na malha da peneira.

Do ponto de vista ambiental, o aproveitamento dos rejeitos do beneficiamento de mica e de pegmatitos, na composição de substratos aplicados no cultivo de mudas de Moringa, é uma ação possível de gerenciamento dos resíduos sólidos, em busca de uma destinação final ambientalmente adequada dos referidos rejeitos, possibilitando a mitigação dos impactos ambientais relacionados à destinação inadequada dos mesmos.

Recomenda-se às empresas de mineração A e B, a realização de um projeto em parceria com o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba – IFPB Campus - Picuí, através do Curso Superior de Tecnologia em Agroecologia, por meio do Núcleo Interdisciplinar de Apoio a Comunidades Rurais – NIARC, do Núcleo de Estudos em Agroecologia – NEA e do Núcleo de Pesquisa e Estudos em Sementes - NUPESS do

Semiárido, além do Curso Técnico em Mineração, visando à capacitação das comunidades rurais locais para a produção de mudas.

A proposta do referido projeto é que as empresas forneçam os insumos e materiais necessários ao cultivo de mudas e o IFPB, Campus - Picuí realize o planejamento, desenvolvimento e acompanhamento do projeto, além de fornecer o suporte técnico e promover treinamentos, que visem capacitar à mão de obra das comunidades rurais locais na produção de mudas, tais mudas podem ser adquiridas pelas próprias empresas e aplicadas em projetos de recuperação de áreas degradadas.

A realização do referido projeto poderá trazer uma série de benefícios sociais, econômicos e ambientais, tais como: melhoria da relação entre a empresa e às comunidades locais, capacitação de mão de obra local e geração de renda, melhoria da imagem dessas empresas perante os clientes, investidores, sócio-acionistas, órgãos reguladores, fornecedores e sociedade em geral, mitigação dos impactos ambientais negativos decorrentes da disposição inadequada dos rejeitos, entre outros. Dessa forma, promovendo uma maior sustentabilidade socioeconômica e ambiental às atividades desenvolvidas por essas empresas.

REFERÊNCIAS

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 10004: Classificação de Resíduos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.
- ALMEIDA, C. B. L.; SÁ, C. C.; CARVALHO, R. C. D.; ALMEIDA, E. S. Estudo Prospectivo da Moringa na Indústria de Cosméticos. **Cadernos de Prospecção**. Salvador, v. 10, n. 4, out./dez. 2017, pp. 905-918.
- AGUSTINI, M. A. B.; WENDT, L.; PAULUS, C.; MALAVASI, M. M.; Maturidade Fisiológica de Sementes de *Moringa oleifera* (LAM) **Revista Inova Ciência & Tecnologia**. Uberaba, ano 1, n. 1, set./dez. 2015, pp. 11-17.
- ASSIS, H. F. S.; BARBOSA, J. A. A.; MOTA, T. S. Avaliação dos impactos ambientais provocados pela atividade mineradora no município de Pedra Lavrada-PB. **Revista Âmbito Jurídico**, N 90-Ano XIV, 2011, pp. 1-16.
- BACCI, D. C.; LANDIM, P. M. B.; ESTON, S. M. Aspectos principais e impactos de pedreira em área urbana. **Revista Escola de Minas**, Ouro Preto, n. 59, jan./mar. 2006.
- BAKKE, I. A.; SOUTO, J. S.; SOUTO, P. C.; BAKKE, O. A. Características de crescimento e valor forrageiro da Moringa (*Moringa oleífera* Lam.) submetida a diferentes adubos orgânicos e intervalos de corte. **Engenharia Ambiental** - Espírito Santo do Pinhal, v. 7, n. 2, abr./jun. 2010, pp. 133-144.
- BARBOSA, Camila. Alves. **Variação temporal de aspectos morfofisiológicos da Moringa oleífera Lam. cultivada em área degradada**. 2017. 56fls, TCC (Bacharelado em Agronomia) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano, Campus Petrolina Zona Rural, Petrolina - PE, 2017.
- BARRETO, Maria Laura. **Mineração e desenvolvimento sustentável: Desafios para o Brasil/ CETEM/MCT**, Rio de Janeiro, 2001.
- BARROS, P. S. C. **Mapeamento Geológico e Síntese do Potencial Mineral de uma Área ao Sul do Município de Pedra Lavrada-PB**. 26 fls. Relatório de Estágio – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Campus Picuí. Picuí, 2019.
- BITAR, O. Y.; ORTEGA, R. T. Gestão Ambiental. In: OLIVEIRA, A. M. S.; BRITO, S. N. A. (Eds.). **Geologia de engenharia**. São Paulo – SP: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE), 1998. Cap. 32. p. 499.
- BRASIL. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília 1988**. DF. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm>. Acesso em: 06 jan. 2020.
- _____. **Decreto nº 9.406**, de 12 de junho de 2018. Regulamenta o Decreto-Lei nº 227, de 28 de fevereiro de 1967, a Lei nº 6.567, de 24 de setembro de 1978, a Lei nº 7.805, de 18 de julho de 1989, e a Lei nº 13.575, de 26 de dezembro de 2017. Disponível:

<http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2015-2018/2018/Decreto/D9406.htm>. Acesso em 23 jan. 2020.

_____. **Lei nº 6.938**, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L6938.htm>. Acesso em: 16 jan. 2020.

_____. **Lei nº 12.305**, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/12305.htm>. Acesso em: 27 jan. 2020.

BRASIL. **RAS - Regras para análise de sementes**. Brasília: Ministério da Agricultura e Reforma Agrária, 2009. 399p.

BRANCO, Pércio de Moraes. **Rocha**. Serviço Geológico do Brasil – CPRM, 2015. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/publique/Redes-Institucionais/Rede-de-Bibliotecas--Rede-Ametista/Rochas-1107.html>>. Acesso em: 12 jan. 2020.

CAMPOS, Alex Milton Albergaria. **Influência da adição da casca e do rejeito da semente da *Moringa oleifera* após extração do óleo em carvões minerais utilizados para injeção em altos-fornos a coque**. 2018. 86 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2018.

CAMPOS, M. C. C.; MARQUES, F. J.; LIMA, A. G. de.; MENDONÇA, R. M. N. de. Crescimento de porta-enxerto de gravioleira (*Annona muricata*, L.) em substratos contendo doses crescentes de rejeitos de caulim. **Revista de Biologia e ciências da Terra**. vol. 8, núm. 1, 1º semestre, 2008, pp. 61-66.

CARDOSO, Wallace Hoffman. **A Efetivação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010) no Estado de Rondônia**. Fundação Universidade Federal de Rondônia – UNIR. Campus Professor Francisco Gonçalves Quiles. Monografia Graduação Curso de Direito. 59 fls., Cacoal – RO, 2015, pp. 25-37.

CAVALCANTE, Patrícia Maria Tenório; BALTAR, Carlos Adolpho Magalhães; SAMPAIO, João Alves. Cap. 25, Mica. **Série Rochas e Minerais Industriais – CETEM/MCT**. Ed. Adão Benvindo da Luz; Fernando Antonio Freitas Lins. Rio de Janeiro, 2005, 727p.

CIMINELLI, R. R. **Rochas e minerais industriais**. In: Tendências tecnológicas Brasil 2015: geociências e tecnologia mineral. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2007. p.180-195. Disponível em:<<http://mineralis.cetem.gov.br:8080/bitstream/cetem/1289/1/Tend%c3%aanciasParte2.5.pdf>>. Acesso em: 16 jan. 2020.

CIMM [Base de dados – Internet]. **Minério**. Definição – O que é Minério; s.d. Disponível em: <<https://www.cimm.com.br/portal/verbetes/exibir/1517-minerio>>. Acesso em: 12 jan. 2020.

COELHO, José Mário. **Outras Rochas e Minerais Industriais - Relatório Técnico 45 Perfil do Feldspato**, publicação do MME e SGM, 2009.

CONAMA – **Conselho Nacional do Meio Ambiente** – IBAMA. Resolução CONAMA nº 001/86. Publicada no D. O. U de 17/02/1986.

CPRM – Serviço Geológico do Brasil. [Base de dados – Internet]. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. Diagnóstico do município de Pedra Lavrada, estado da Paraíba**. Organizado por João de Castro Mascarenhas, Breno Augusto Beltrão, Luiz Carlos de Souza Junior, Franklin de Moraes, Vanildo Almeida Mendes, Jorge Luiz Fortunato de Miranda. Recife: CPRM/PRODEEM, 2005.

CUNHA, A. de M.; CUNHA, G. de M.; SARMENTO, R. de A.; CUNHA, G. de M.; AMARAL, J. F. T. do. Efeito de diferentes substratos sobre o desenvolvimento de mudas de Acacia – SP. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.30, n.2, 2006, pp. 207-214.

CURI, Adilson. **Minas a céu aberto: planejamento de lavra**. São Paulo: Oficina de Textos, 2014.

_____. Adilson. **Lavra de Minas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2017.

ELOY, E.; CARON, B. O.; SCHMIDT, D.; BEHLING, A.; SCHWERS, L.; ELLI, E. F. Avaliação da qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis* utilizando parâmetros morfológicos **Floresta**, Curitiba, PR, v. 43, n. 3, jul./set. 2013, pp. 373-384.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Súmula da X Reunião Técnica de Levantamento de Solos**, 10, (SNLCS. Série Miscelânea, 1), Rio de Janeiro, 1979. 83p.

ESTADOS UNIDOS. Department of Agriculture. Soil Survey Staff. **Soil survey manual**. Washington, 1951. 503p. (Handbook, 18).

FARIAS, Carlos Eugenio Gomes. **Mineração e Meio Ambiente no Brasil**. Relatório preparado p/o CGEE. PNUP – out. 2002. Disponível: <https://www.mma.gov.br/estruturas/sqa_pnla/_arquivos/minera.pdf>. Acesso em: 3 jan. 2020.

FONSECA, E. P. **Padrão de qualidade de mudas de *Trema micrantha* (L.) Blume., *Cedrela fissilis* Vell. e *Aspidosperma polyneuron* Muil Arg. produzidas sob diferentes períodos de sombreamento**. Tese (Doutorado em Agronomia)- Universidade Estadual Paulista. Jaboticabal, UEP, 2000. 113p.

FRANCISCO, P. R. M; SANTOS, D. **Climatologia do Estado da Paraíba 1ª Edição**. EDUFPG. Campina Grande-PB, 2017. Disponível em: <<https://portal.insa.gov.br/images/acervo-livros/Climatologia%20do%20Estado%20da%20Paraiba%20editora.pdf>>. Acesso: 23 jan. 2020.

GATTO, Luciane Poleto. **Programa de Gestão Ambiental para o Processo de Mineração no Município de São Domingos do Sul – RS**. Dissertação – Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção Universidade Federal de Santa Maria, 2003, p. 20.

GOMES, J. M.; COUTO, L.; LEITE, H. G.; XAVIER, A.; GARCIA, S. L. R. Parâmetros Morfológicos na Avaliação da Qualidade de Mudanças de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 26, n. 6, p. 655-664, Nov. 2002. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-67622002000600002&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 25 fev. 2020.

GOOGLE MAPS. **Localizações 2020**. Disponível em: <<https://www.google.com/maps/dir/Jo%C3%A3o+Pessoa,+PB/Pedra+Lavrada,+Para%C3%ADba/@-6.8812695,-36.2170614,9z/data=!3m1!4b1!4m14!4m13!1m5!1m1!1s0x7ace839019aa3d7:0x6e414a9c6d26db34!2m2!1d-34.8450118!2d-7.1194958!1m5!1m1!1s0x7ae50da0a597b8f:0xd9217dcde8d873af!2m2!1d-36.4147889!2d-6.7918297!3e0>>. Acesso em: 15 jan. 2020.

GRAVE, F.; FRANCO, E. T. H.; PACHECO, J. P.; SANTOS, S. R. Crescimento de plantas jovens de açoita-cavalo em quatro diferentes substratos. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 17, n. 4, out-dez, 2007, pp. 289-298.

GRECO, Leonardo. **Revista da Procuradoria Geral do Estado do Espírito Santo Vitória**, v. 4, n. 4, 2. sem., 2005, p. 91.

GUERRA, Sidney. **Resíduos sólidos: comentários à Lei 12.305/2010**. Rio de Janeiro: Forense, 2012, p. 29.

GUZZO, Pedro Luiz. Cap. 31, **Quartzo**. Rochas & Minerais Industriais. Ed. Adão Benvindo da Luz e Fernando Antonio Lins. 2ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 990 p., 2008.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. [Base de dados – Internet]. **Cidades e Estados. História & Fotos, Pesquisa e Panorama**. Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br/brasil/pb/pedra-lavrada/historico>>. Acesso em: 07 jan. 2020.

_____. **Coleção de Monografias Municipais**. Nova Série – nº 254, Pedra Lavrada. Rio de Janeiro-RJ, Junho de 1985. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/112/col_mono_ns_n254_pedralavrada.pdf>. Acesso em: 07 jan. 2020.

IBRAM – Instituto Brasileiro de Mineração. **Economia Mineral**. Portal da Mineração. Belo Horizonte-MG. Fev. 2020. Disponível em: <<https://portaldaminerao.com.br/wp-content/uploads/2020/02/Econ-mineral-fev2020.pdf>>. Acesso em: 10 fev. 2020.

JABUR, M. A.; MARTINS, A. B. G. Influência de substratos na formação dos porta-enxertos: limoeiro-cravo (*Citrus limonia* Osbeck) e tangerineira-cleópatra (*Citrus reshni* Hort. Ex Tanaka) em ambiente protegido. **Rev. Bras. Frutic.**, Jaboticabal - SP, v. 24, n. 2, agosto 2002, pp. 514-518.

JOHNSTON Jr., W.D. **Beryl-tantalite pegmatites of Northeastern Brazil**. *Geological Society of América Bulletin*, v. 56, 1945, pp. 1015-1070.

KOPEZINSKI, Isaac. **Mineração x Meio Ambiente**: Considerações legais, principais impactos ambientais e seus processos modificadores. Ed.Universidade/UFRGS, Porto Alegre, 2000, p. 12.

KROLOW, I. R. C. **Produção de mudas de eucalipto em substratos obtidos a partir de resíduos agroindustriais, compostados e vermicompostados**. Dissertação (Mestrado – Produção vegetal) Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel/Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 73 fls., 2007.

LEMO, R.C.; SANTOS, R.D. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 2.ed. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo; Embrapa-SNLCS, 1984.

LEVANTAMENTO EXPLORATÓRIO. **Reconhecimento de Solos do Estado da Paraíba**. Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo, Ministério da Agricultura. Divisão de Agrologia DRN – SUDENE, Ministério do Interior. Boletim Técnico nº 15. Série Pedologia nº 8. Convênio de Mapeamento de Solos MA / EPE – SUDENE / DRN. Convênio MA / CONTAP / USAID / BRASIL. Rio de Janeiro, 1972, pp. 28, 31, 593, 626, 637, 638, 644.

LIMA, T. M. Sumário Mineral 2015. **Mica (Muscovita)**. DNPM/MME, 2015, pp. 84 e 85.

LOBATO, Emílio. “**A Mineração Brasileira**” - **Relatório Técnico 51 Perfil da Mica**, publicação do MME e SGM, 2009.

_____. Emílio. “**A Mineração Brasileira**” - **Relatório Técnico 37 Perfil do Quartzo**, publicação do MME e SGM, 2009.

LUZ, A. B.; LINS, F.A.F.; PIQUET, B.; COSTA, M.J.; COELHO, J.M.. **Pegmatitos do Nordeste: diagnóstico sobre o aproveitamento racional e integrado**, publicação do CETEM, Série Rochas e Minerais Industriais, 2003, p. 97.

_____. Adão Benvindo; LINS, Fernando A. Freitas; COELHO, José Mário. Cap. 21, Feldspato. **Rochas & Minerais Industriais**. Ed. Adão Benvindo da Luz e Fernando Antonio Lins. 2 ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 990 p., 2008.

_____. A. B.; SAMPAIO, J. A.; FRANÇA, S. C. A. **Tratamento de Minérios**. 5ª ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCTIC, 2010.

_____. Adão Benvindo; FRANÇA, S. C. A.; BRAGA, P. F. A. **Tratamento de Minérios**. 6ª ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCTIC, 2018.

MECHI, Andréa. & SANCHES, Djalma. Luiz. Impactos ambientais da mineração no Estado de São Paulo. **Revista Estudos Avançados**, 24 (68), 2010, p. 209.

MEDEIROS, A. R. S.; GONZAGA, L. M.; OLIVEIRA, J. R. S. **Caracterização Química, Granulométrica e Mineralógica do Rejeito Proveniente o Beneficiamento de Moscovita**. XXVI Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa. Poços de Caldas-MG. Out. 2015. Disponível em:
<[https://www.artigos.entmme.org/download/2015/caracteriza%C3%87%C3%83o/MEDEIRO S,%20A.R.S._GONZAGA,%20L.M._OLIVEIRA,%20J.R.S.%20-%20CARACTERIZA%C3%87%C3%83O%20QU%C3%8DMICA,%20GRANULOM%C3](https://www.artigos.entmme.org/download/2015/caracteriza%C3%87%C3%83o/MEDEIRO%20S,%20A.R.S._GONZAGA,%20L.M._OLIVEIRA,%20J.R.S.%20-%20CARACTERIZA%C3%87%C3%83O%20QU%C3%8DMICA,%20GRANULOM%C3)

%89TRICA%20E%20MINERAL%C3%93GICA%20DO%20REJEITO%20PROVENIENTE%20DO%20BENEFICIAMENTO%20DE%20MOSCOVITA.pdf>. Acesso: 03 mar. 2020.

MELO, Francisca Jessica da Silva. **Uso de Resíduos do Caulim da Vermiculita como Substrato para Produção de Mudas de Mamoeiro**. Dissertação. (Pós-Graduação em Horticultura Tropical). 2019. 48 fls. Universidade Federal de Campina Grande, Pombal/PB, 2019, pp. 21-22.

_____. Wenderson Laverrier Araújo. **Caracterização do Município de Pedra Lavrada**. s.d. Disponível em:

<https://www.academia.edu/19107045/CARACTERIZA_%C3%87%C3%83O_DO_MUNIC_%C3%8DPIO_DE_PEDRA_LAVRADA>. Acesso em: 15 jan. 2020.

MENDONÇA, Ana Maria Gonçalves Duarte; SOUSA, Loredanna Melyssa Costa;

MENEZES, R. R., NEVES, G. A., FERREIRA, H. C. O estado da arte sobre o uso de resíduos como matérias-primas cerâmicas alternativas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, n. 2, p. 303-313, 2002.

MENEZES, Sebastião de Oliveira. **Minerais comuns e de importância econômica um manual fácil**. 2º ed., 144 p. 2012.

MINERAL DATA PUBLISHING, VERSION 1.2. **Muscovite**. 2001. Disponível em: <<https://rruff.info/doclib/hom/muscovite.pdf>>. Acesso: 03 mar. 2020.

MORGADO, I. F.; CARNEIRO, J. G. de A.; LELES, P. S. dos S.; BARROSO, D. G. Resíduos agroindustriais prensados como substrato para a produção de mudas de cana-de-açúcar. **Scientia Agrícola**. v. 57, n. 4, out./dez. 2000, pp. 709-712.

NAVARRO, G. R. B. et al. **Livro de referência de Minerais Comuns e Economicamente Relevantes: FILOSSILICATOS. MUSCOVITA**. Museu de Minerais, Minérios e Rochas “Prof. Dr. Heinz Ebert”. Rio Claro-SP. 2017. Disponível em:

<<https://museuhe.com.br/site/wp-content/uploads/2018/02/Museu-HE-MUSCOVITA.pdf>>. Acesso: 03 de mar. 2020.

NUNES, Paulo Henrique Faria. **Meio Ambiente e Mineração: desenvolvimento sustentável**. 1ª Ed. (2006), 4ª reimpr. Curitiba: Juruá, 2011.

OLIVEIRA, D. S.; FONSECA, X. D. S.; FARIAS, P. N.; BEZERRA, V. S.; PINTO, C. H. C.; SOUZA, L. D.; SANTOS, A. G. D.; MATIAS, L. G. O. Obtenção do Biodiesel através da transesterificação do óleo de *Moringa Oleífera* Lam. 2012, **HOLOS**, Ano 28, Vol. 1, 2012.

OLIVEIRA, Maria Lúcia M. de; AQUINO, José Aury de. **Tratamento de Minérios**. Práticas Laboratoriais. Ed. João Alves Sampaio, Silva Cristina Alves França, Paulo Fernando Almeida Braga. Rio de Janeiro:CETEM/MCT, 570 p., 2007.

OLIVEIRA, N. T.; NASCIMENTO, k. P.; GONÇALVES, B. O.; LIMA, F. C.; COSTA, A. L. N. Tratamento de Água com *Moringa oleífera* Como coagulante/floculante natural **Revista Científica da Faculdade de Educação e Meio Ambiente**. Ariquemes: FAEMA, v. 9, n. 1, jan./jun., 2018.

OLSON, M. E.; FAHEY, J. W. Moringa oleifera: un árbol multiusos para las zonas tropicales secas. **Rev. Mex. Biodiv.**, México, v. 82, n. 4, p. 1071-1082, dez. 2011. Disponível em: <<http://www.scielo.org.mx/pdf/rmbiodiv/v82n4/v82n4a1.pdf>>. Acesso em: 17 jan. 2020.

PEREIRA, David Eduardo; ALMEIDA, Amanda Martins; SOARES, Dwight Rodrigues. Investigação dos Aspectos Ambientais da Extração de Pegmatitos na Província Pegmatítica da Borborema. IFPB, Campus Campina Grande. **Revista Join**. Encontro Internacional de Jovens Investigadores. Edição Brasil, 2002.

_____. Rui Fernandes Jr. Feldspato. **Sumário Mineral 2017**. ANM/MG, 2017, pp.108-110. Disponível: <http://anm.gov.br/dnpm/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/sumario-mineral/sumariomineral_2017>. Acesso em: 14 jan. 2020.

PEREIRA, W. E.; SOUSA, G. G. de.; ALENCAR, M. L. de.; MENDONÇA, R. M. N.; SILVA, G. L. da. Crescimento de mudas de mamoeiro em substratos contendo caulim. **Revista Verde** (Mossoró – RN – Brasil) v.3, n1, abril/junho de 2008, pp. 27-35.

PONTES, J. C.; FILHO, J. L. R. SILVA, J. A. L.; MEDEIROS, M. C. S.; LIMA, V. L. A. Desmonte de rocha com técnicas de produção mais limpa: uma contribuição para a saúde do trabalhador. **Revista Estudos Geológicos**, v. 22(2) 2012.

_____. J. C.; FARIAS, M. S. S.; LIMA, V. L. A. Mineração e seus reflexos socioambientais: Estudo de Impactos de vizinhança (EIV) causados pelo desmonte de rochas com uso de explosivos. **Revista Polêmica**, v. 12, n. 1, jan./mar. 2013.

PRADO, Hélio do. A Pedologia Simplificada. Arquivo do Agrônomo - Nº 1. 2.ed. **Potafos**. Piracicaba-SP, Dez. 1995. Disponível em: <http://www2.uefs.br/geotropicos/pedologia_simplificada_95838.pdf>.

PREFEITURA MUNICIPAL PEDRA LAVRADA. **Dados Geográficos**. s.d. Disponível: <<https://pedralavrada.pb.gov.br/paginas/dados-geograficos>>. Acesso em: 16 jan. 2020.

PRESS, F.; GR OTZINGER, J.; SIERVER, R.; JORDAN, T. H. **Para entender a Terra**. 4ª ed. Porto Alegre: Bookam, 2006.

RAMACHANDRAN, C.; PETER, K. V.; GOPALAKRISHNAN, P. K. DRUMSTICK (*Moringa oleifera*) a multipurpose Indian vegetable. *Economy Botany*, **1980**, 34, 276-283. RAMOS, L. M.; COSTA, R. S.; MORÔ, F. V.; SILVA, R. C. Morfologia de frutos e sementes e morfofunção de plântulas de Moringa (*Moringa oleifera* Lam.) **Comunicata Scientiae**. 1 (2), dez./jun. 2010, pp. 156-160.

REIS, Z. S. **Desenvolvimento sustentável do setor mineral**, 2003. Disponível em: <<http://www.maurolemes.hpg.ig.com.br/mineral.htm>>. Acesso em: 10 jan. 2020.

RODRIGUES, Marcelo Abelha. **Breves considerações sobre a prova nas demandas coletivas ambientais**. In: LEITE, José Rubens Morato; DANTAS, Marcelo Buzaglo (Org.), **Aspectos processuais do direito ambiental**. 2. ed. Rio de Janeiro: Forense Universitária, 2004.

RUIZ, R. B.; ODIO, R. M. R.; CARRIÓN, M. E. B. ***Moringa oleifera*: a healthy option for the well-being**. MEDISAN, 2012.

SÁNCHEZ, L.E. **Ruído y Sobrepression atmosférica**. In: REPETTO, F.L. & KAREZ, C.S (Eds), Aspectos Geológicos de proteccion ambiental. Montevideo: PNUMA/UNESCO e Instituto de Geociência/UNICAMP, V.1, 1995, p.189.

SANTOS, Allívia Rouse Ferreira dos. **Desenvolvimento Inicial de *Moringa Oleifera* Lam. Sob Condições de estresse**. 87 fls. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) - Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2010. Disponível: <<http://livros01.livrosgratis.com.br/cp134670.pdf>>. Acesso em: 17 jan. 2020.

SILVA, F. J. A.; MATOS, J. E. X. Sobre dispersões de *Moringa oleífera* para tratamento de água. **Revista Tecnologia**, Fortaleza, v.29, n.2, p.157-163, dez. 2008.

SILVA, J. A. L.; SILVA, C. P.; ALMEIDA, H. A. **Diagnóstico socioeconômico e ambiental sobre a extração mineral na jazida Auto Feio no município de Pedra Lavrada-PB**. Encontro Nacional de Geografia-ENG, São Paulo, 2008.

_____. José Adailton Lima. **Uma discussão sobre desertificação: caso do município de Pedra Lavrada - PB**. TCC – Graduação em Geografia Universidade Estadual da Paraíba, 2010, p. 68.

SILVA, J. P. S. Impactos ambientais causados por mineração. **Revista Espaço da Sophia**, Nº 08, Novembro, ANO I, 2007.

SILVA, R. B. G. da.; SIMÕES, D.; SILVA, M. R. da. Qualidade de mudas clonais de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* em função do substrato. 2011. Campina Grande, PB **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v.16, n.3, 2012, pp.297–302.

SILVEIRA, M. D. **Utilização de Resíduos de Mineração na Construção Civil**. Monografia.Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, 2015.

SILVEIRA, T. A. et al. **Análise Climatológica das Tendências de Precipitação Pluvial dos Municípios de Picuí e Cuité, Paraíba – PB**. IX Congresso Norte Nordeste de Pesquisa e Inovação - CONNEPI. São Luís-MA, 2014. Disponível em: <http://arquivos.info.ufrn.br/arquivos/2016040006003d3749958787cee148d29/SILVEIRA_et_al_2014_-_ANLISE_CLIMATOLGICA_DAS_TENDNCIAS_DE_PRECIPITAO_PL.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2020.

SOARES, D. R. **Contribuição à Petrologia de Pegmatitos Mineralizados em Elementos Raros e Elbaítas Gemológicas da Província Pegmatítica da Borborema, Nordeste do Brasil**. 2004. 286fls. Tese (Doutorado em Geociências), Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Recife, 2004.

_____. D. R; GONZAGA, F. A. S; FERREIRA, A. C. M; CAITANO, H. K. C; FARAIS, A. B; SOUSA, D. B. Aspectos técnicos da lavra do pegmatito “alto” feio, pedra lavrada, Paraíba. **Holos**. Ano 32. Vol. 1., 2016, p. 404-412.

TANNER JR., J. T. "**Mica**", **Industrial Minerals and Rocks**, 6ª edição, Ed. Donald D. Carr, 1994.

TEIXEIRA, W.; FAIRCHILD, T. R.; TOLEDO, M. C. M.; TAIOLI, F. **Decifrando a Terra**. 2ª ed. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2009.

TRAJANO, Érika Veruschka de Araújo. **Rejeitos de Mineradoras como Substrato na Produção de Mudas de Pinhão Manso (*Jatropha curcas* L.)**. 2010. 31 fls. Monografia. (Engenharia Florestal), Universidade Federal de Campina Grande, Patos/PB, 2010, pp. 15-16.

VALE [Base de dados – Internet]. **Minério**. Descubra a diferença entre minério, metal, minerais e rochas, 2018. Disponível em: <<http://www.vale.com/brasil/PT/aboutvale/news/Paginas/descubra-diferenca-entre-minerio-metal-minerais-rochas.aspx>>. Acesso em: 12 jan. 2020.

WAGNER JÚNIOR, A.; SOBREIRA ALEXANDRE, R.; NEGREIROS, J. R. da S.; PIMENTEL, L. D.; SILVA, J. O. da C.; BRUCKNER, C. H. Influência do substrato na germinação e desenvolvimento inicial de plantas de maracujazeiro amarelo (*Passiflora edulis Sims f. flavicarpa Deg*). **Ciênc. agrotec.**, Lavras, v. 30, n. 4, jul./ago., 2006.

WINGE, M. **Minério**. Glossário Geológico Ilustrado. Serviço Geológico do Brasil - CPRM. 2001. Disponível em: <<http://sigep.cprm.gov.br/glossario/verbete/minerio.htm>> Acesso em: 12 jan. 2020.