



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**NATÁLIA MEDEIROS DOS SANTOS**

**USO DE REJEITO DO BENEFICIAMENTO DE GRANITO PARA SUBSTITUIÇÃO  
PARCIAL DE UM SOLO EM CAMADAS DE PAVIMENTAÇÃO**

**Natal/RN**

**2019**

**NATÁLIA MEDEIROS DOS SANTOS**

**USO DE REJEITO DO BENEFICIAMENTO DE GRANITO PARA  
SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DE UM SOLO EM CAMADAS DE  
PAVIMENTAÇÃO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como requisito à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil – ênfase em Geotecnia.

Orientador: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Maria Del Pilar Durante Ingunza  
Coorientador: Prof. Dr. Enio Fernandes Amorim

Natal/RN

2019

Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN  
Sistema de Bibliotecas - SISBI  
Catalogação de Publicação na Fonte. UFRN - Biblioteca Central Zila Mamede

Santos, Natalia Medeiros Dos.

Uso de rejeito do beneficiamento de granito para substituição parcial de um solo em camadas de pavimentação / Natália Medeiros dos Santos. - 2019.

79 f.: il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Natal, RN, 2019.

Orientadora: Profa. Dra. Maria Del Pilar Durante Ingunza.  
Coorientador: Prof. Dr. Enio Fernandes Amorim.

1. Rejeito de granito - Dissertação. 2. Substituição parcial - Dissertação. 3. Solo - Dissertação. 4. Pavimentação - Dissertação. 5. CBR - Dissertação. I. Ingunza, Maria Del Pilar Durante. II. Amorim, Enio Fernandes. III. Título.

RN/UF/BCZM

CDU 552.3

NATÁLIA MEDEIROS DOS SANTOS

**USO DE REJEITO DO BENEFICIAMENTO DE GRANITO PARA  
SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DE UM SOLO EM CAMADAS DE  
PAVIMENTAÇÃO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como requisito à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil – ênfase em Geotecnia.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Maria Del Pilar Durante Ingunza – Orientadora, UFRN

---

Prof. Dr. Enio Fernandes Amorim – Coorientador, UFRN

---

Prof. Dr. Olavo Francisco dos Santos Júnior – Examinador Interno, UFRN

---

Prof. Dr. Marcondes Mendes de Souza – Examinador Externo, IFRN

**Natal/RN, 30 de julho de 2019.**

*“A tua estrada é somente sua. Outros podem acompanhá-lo, mas ninguém pode andar por você”.*

Rumi

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela vida, capacidade e instrumentos que me possibilitaram a realização deste trabalho.

Aos meus pais, Núbia Medeiros e Noésio Fernandes dos Santos, principais mentores e responsáveis pelos ensinamentos de minha vida.

À minha irmã, Nayara Medeiros dos Santos, seu orgulho com relação as minhas conquistas impulsionam a continuação desta jornada.

Aos familiares, sempre acreditaram nas minhas metas e me apoiaram.

Aos orientadores deste trabalho, Maria Del Pilar e Enio Fernandes, agradeço a disponibilidade e ensinamentos nestes anos de mestrado.

Aos professores da graduação e do mestrado, pela disponibilidade e contribuições relacionadas a minha vida acadêmica.

Aos amigos, obrigada pelas palavras de ajuda nos momentos difíceis, as risadas nas horas de alegria e pela amizade sincera.

Aos colegas de trabalho da Superintendência de Infraestrutura – INFRA/UFRN, pela compreensão e auxílio relacionados a obtenção da titulação de Mestre em Engenharia Civil.

Ao Britador Seridó Ltda, pelo fornecimento do rejeito de granito para elaboração dos ensaios desta dissertação.

Ao Laboratório de Solos da UFRN, pela disposição do espaço e instrumentos necessários para obtenção dos resultados desta pesquisa.

À Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), instituição responsável pela minha formação acadêmica assim como pelo meu crescimento profissional.

# **USO DE REJEITO DO BENEFICIAMENTO DE GRANITO PARA SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DE UM SOLO EM CAMADAS DE PAVIMENTAÇÃO**

**NATÁLIA MEDEIROS DOS SANTOS**

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Maria Del Pilar Durante Ingunza.  
Coorientador: Prof. Dr. Enio Fernandes Amorim.

## **RESUMO**

A poluição gerada pela atividade mineradora é uma das principais pautas em discussão na sociedade atual. O motivo da preocupação mundial resulta das consequências sofridas pelo Planeta, incitando a adoção de medidas eficazes e menos prejudiciais ao meio ambiente. No contexto local, destacam-se os problemas ambientais causados pelo rejeito gerado na etapa de beneficiamento do granito. O rejeito utilizado neste trabalho provém de uma jazida na região do Seridó Potiguar, localizada entre os municípios de Caicó/RN e São Fernando/RN. O objetivo do estudo visa a substituição parcial do solo local, incorporando o rejeito granítico, nas proporções de 10%, 20% e 30% às misturas finais das camadas de pavimentação. Foram desenvolvidos ensaios no Laboratório de Solos da UFRN e NUPPRAR/UFRN, para aferir as propriedades químicas, mineralógicas, físicas e mecânicas. Os resultados mostraram que apenas a amostra com 10% de rejeito de granito (AM03) foi eficiente para os três tipos de camadas de pavimentação (base, sub-base e subleito). As análises das demais amostras apresentaram ressalvas nos resultados do CBR ou em relação à expansão. Além disso, avaliou-se os resultados de uma simulação relacionada a viabilidade econômica da amostra que obteve o melhor desempenho, a partir dos custos de uma obra rodoviária licitada pela Superintendência de Infraestrutura – INFRA/UFRN. A substituição do solo nas camadas de subleito e

base, pelo material contabilizado a custo zero, provocou uma redução inferior à 1% do valor total da obra. Apesar da substituição parcial do solo pelos 10% de rejeito apresentar redução de custo pouco significativa, defende-se a sua incorporação à mistura final por esta trazer benefícios ambientais sem onerar o valor global da obra.

**Palavras-chave:** Rejeito de granito; Substituição parcial; Solo; Pavimentação; CBR e Orçamento.

# **USE OF WASTES FROM THE BENEFICIATION PROCESS OF GRANITE IN PAVING LAYERS**

**NATÁLIA MEDEIROS DOS SANTOS**

Professor advisor: Maria Del Pilar Durante Ingunza, Doc.  
Professor advisor assistant: Enio Fernandes Amorim, Doc.

## **ABSTRACT**

The pollution produced by mining activity is one of the main issues discussed in today's society. Global concern on the subject raises mainly from the consequences endured by the planet, encouraging the adoption of effective and less damaging measures to the environment. Environmental issues caused by mining tailings generated at the granite processing stage are evidenced in the local context. The mining tailing used in this study originates from a mineral deposit encountered in the Seridó region of Rio Grande do Norte state, more specifically located between Caicó and São Fernando cities. Therefore, this study aims to partially replace the local soil with the incorporation of a mining tailing from granite processing in the proportions of 10%, 20% and 30% to the final mixtures of the paving layers. Trials were conducted at the Soil Laboratory of the Federal University of Rio Grande do Norte (UFRN) and NUPPRAR/UFRN in order to assess chemistry, mineral, physical and mechanical properties. The obtained results demonstrate that only the sample containing 10% of a mining tailing from granite processing (AM03) was efficient to the three types of paving layers (base, subbase and subgrade). The analysis of the other samples presented exceptions related to the CBR results or to the expansion. Furthermore, it was appraised the results of a simulation concerning economic feasibility of the sample that presented the best performance based on the cost

of a road paving work auctioned by the Infrastructure Superintendency – INFRA/UFRN. The soil replacement in subgrade and base layers by the material accounted at zero cost caused a reduction of less than 1% of the total value of the work. Although the partial replacement of the soil by 10% of AM03 presents a low-cost reduction, the incorporation of such sample to the final mixture is sustained by environmental benefits that do not encumber the total value of the work.

**Keywords:** Mining tailing. Partial replacement. Paving process. Soil. CBR. Costing.

## SUMÁRIO

|  |    |
|--|----|
| CAPÍTULO 1 .....   | 1  |
| INTRODUÇÃO .....   | 1  |
| 1.1. JUSTIFICATIVA .....   | 2  |
| 1.2. OBJETIVOS DA PESQUISA .....   | 3  |
| 1.2.1. OBJETIVO GERAL .....  | 3  |
| 1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....   | 3  |
| CAPÍTULO 2 .....   | 4  |
| REVISÃO DA LITERATURA .....  | 4  |
| 2.1. ATIVIDADE DE EXTRAÇÃO E BENEFICIAMENTO NA MINERAÇÃO 4   |    |
| 2.1.1. RESÍDUOS PRODUZIDOS PELA INDÚSTRIA DA MINERAÇÃO ....  | 5  |
| 2.1.2. REAPROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS DE MINERAÇÃO NA<br>PAVIMENTAÇÃO .....   | 7  |
| 2.2. O CENÁRIO DA MINERAÇÃO NO RIO GRANDE DO NORTE.....  | 9  |
| 2.2.1. O GRANITO.....  | 10 |
| 2.3. PAVIMENTAÇÃO.....   | 11 |
| 2.4. ESTABILIZAÇÃO GRANULOMÉTRICA COMO TÉCNICA DE<br>MELHORAMENTO DOS SOLOS .....  | 13 |
| 2.5. CORRELAÇÃO DOS ENSAIOS QUÍMICO, MINERALÓGICO, FÍSICOS<br>E MECÂNICOS COM O SISTEMA DE CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS ..... | 15 |
| 2.6. A MINERAÇÃO E O MEIO AMBIENTE.....  | 16 |
| CAPÍTULO 3 .....   | 18 |
| MATERIAIS E MÉTODOS.....   | 18 |
| 3.1. MATERIAIS.....  | 18 |
| 3.2. MÉTODOS.....  | 21 |
| 3.2.1. CARACTERIZAÇÃO DOS ENSAIOS .....  | 24 |

|   |    |
|---|----|
| 3.2.1.1. CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E MINERALÓGICA.....                           | 24 |
| 3.2.1.2. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E MECÂNICA.....                                | 24 |
| 3.2.2. ANÁLISE ECONÔMICA - ORÇAMENTO .....                                    | 29 |
| CAPÍTULO 4 .....  | 30 |
| APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS .....                                   | 30 |
| 4.1. CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E MINERALÓGICA DO SOLO E REJEITO DE GRANITO ..... | 30 |
| 4.1.1. ANÁLISE QUÍMICA: SOLO E REJEITO DE GRANITO .....                       | 30 |
| 4.1.2. ANÁLISE MINERALÓGICA: SOLO E REJEITO DE GRANITO.....                   | 32 |
| 4.2. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA.....   | 33 |
| 4.2.1. MASSA ESPECÍFICA DOS GRÃOS: SOLO E REJEITO .....                       | 34 |
| 4.2.2. ANÁLISE GRANULOMÉTRICA .....   | 35 |
| 4.2.3. LIMITES DE CONSISTÊNCIA .....  | 38 |
| 4.3. CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS – SUCS E HRB.....                                | 40 |
| 4.4. CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA .....  | 41 |
| 4.4.1. ENSAIO DE COMPACTAÇÃO .....  | 41 |
| 4.4.2. ENSAIO DE ÍNDICE SUPORTE CALIFÓRNIA (ISC) .....                        | 46 |
| 4.4.3. EXPANSÃO (CBR) .....   | 48 |
| CAPÍTULO 5 .....  | 51 |
| ANÁLISE ORÇAMENTÁRIA .....  | 51 |
| CAPÍTULO 6 .....  | 54 |
| CONCLUSÕES .....  | 54 |
| REFERÊNCIAS.....  | 56 |
| ANEXO – ORÇAMENTO.....  | 60 |

**LISTA DE FIGURAS**

|  |    |
|--|----|
| Figura 1 – Estéril .....   | 6  |
| Figura 2 - Barragem de rejeito.....  | 6  |
| Figura 3 - Tipos de pavimentos .....                                       | 12 |
| Figura 4 - Estabilização das camadas de pavimentação .....                 | 14 |
| Figura 5 - Materiais utilizados na pesquisa (rejeito e solo).....          | 18 |
| Figura 6 - Localização do Britador Seridó .....                            | 19 |
| Figura 7 - Pilha do rejeito de granito .....                               | 20 |
| Figura 8 - Solo coletado no município de Caicó/RN.....                     | 21 |
| Figura 9 - Fluxograma da pesquisa.....                                     | 22 |
| Figura 10 - Frações de solos (AM01) e rejeito de granito (AM02).....       | 25 |
| Figura 11 - Ensaio de limite de plasticidade e liquidez – solo .....       | 26 |
| Figura 12 - Ensaio de compactação - solo .....                             | 27 |
| Figura 13 - Ensaio de compactação - rejeito de granito .....               | 27 |
| Figura 14 - Ensaio de CBR.....   | 28 |
| Figura 15 - Ensaio CBR (expansão).....                                     | 28 |
| Figura 16 - Difratoograma da amostra de solo .....                         | 32 |
| Figura 17 - Difratoograma da amostra de rejeito.....                       | 33 |
| Figura 18 - Análise granulométrica de AM01 a AM05 .....                    | 38 |
| Figura 19 - Ensaio de compactação para a amostra de solo (AM01).....       | 42 |
| Figura 20 - Ensaio de compactação para a amostra de rejeito (AM02) .....   | 42 |
| Figura 21 - Ensaio de compactação para a amostra de 10% rejeito (AM03) ... | 43 |
| Figura 22 - Ensaio de compactação para a amostra de 20% rejeito (AM04) ... | 43 |
| Figura 23 - Ensaio de compactação para a amostra de 30% rejeito (AM05) ... | 44 |
| Figura 24 - Ensaio de compactação - Proctor Normal.....                    | 44 |
| Figura 25 - Ensaio de compactação - Proctor Intermediário .....            | 45 |
| Figura 26 - Ensaio de compactação - Proctor Modificado.....                | 45 |
| Figura 27 – Resultados dos ensaios de CBR.....                             | 47 |

**LISTA DE TABELAS**

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1 – Principais ensaios técnicos da pesquisa .....                                      | 23 |
| Tabela 2 - Identificação das amostras ensaiadas .....   | 25 |
| Tabela 3 - Corpos-de-prova produzidos para o ensaio de compactação .....                      | 26 |
| Tabela 4 - Análise química da amostra de solo (AM01) .....                                    | 31 |
| Tabela 5 - Análise química da amostra de rejeito (AM02).....                                  | 31 |
| Tabela 6 - Massa específica das amostras ensaiadas.....                                       | 34 |
| Tabela 7 - Composição granulométrica em porcentagem (%) de fração e índices<br>CNU e CC ..... | 35 |
| Tabela 8 - Limites de consistência .....  | 39 |
| Tabela 9 - Condição plástica da argila .....  | 40 |
| Tabela 10 - Classificação das amostras AM01 a AM05 .....                                      | 40 |
| Tabela 11 - Resultados do ensaio de compactação (umidade ótima e massa<br>específica).....    | 41 |
| Tabela 12 - Valores mínimos de CBR .....  | 47 |
| Tabela 13 - Valores de expansão máxima para camadas de pavimentação ...                       | 49 |
| Tabela 14 - Resultados de expansão (CBR).....   | 49 |
| Tabela 15 - Análise da redução de custos com a inserção de 10% do rejeito de<br>granito ..... | 53 |

**LISTA DE SIGLAS, ABREVIATURAS E SÍMBOLOS**

|          |  |
|----------|--|
| AASHTO   | American Association of State Highway and Transportation Officials |
| ABCP     | Associação Brasileira de Cimento Portland                          |
| ABEDA    | Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Asfalto       |
| ABNT     | Associação Brasileira de Normas Técnicas                           |
| CBR      | Califórnia Bearing Ration  |
| $C_c$    | Coeficiente de curvatura   |
| CNU      | Coeficiente de não-uniformidade                                    |
| CTGÁS-ER | Centro de Tecnologias do Gás e Energias Renováveis                 |
| DNER     | Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte              |
| DNIT     | Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes             |
| DNPM     | Departamento Nacional de Produção Mineral                          |
| DRX      | Difração de raios-x  |
| D10      | Diâmetro efetivo 10%   |
| D30      | Diâmetro efetivo 30%   |
| D60      | Diâmetro efetivo 60%   |
| FRX      | Fluorescência de raios-x   |
| HRB      | Highway Research Board   |
| IG       | Índice de grupo  |
| IP       | Índice de plasticidade   |
| ISC      | Índice suporte Califórnia  |
| kg       | Quilograma   |
| LL       | Limite de liquidez   |
| LP       | Limite de plasticidade   |

|         |   |
|---------|---|
| MMA     | Ministério do Meio Ambiente   |
| NBR     | Norma Brasileira  |
| NUPPRAR | Núcleo de Processamento Primário e Reuso de Água Produzida e Resíduos |
| RN      | Rio Grande do Norte   |
| SEDEC   | Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico                     |
| UFRN    | Universidade Federal do Rio Grande do Norte                           |
| w       | Teor de umidade ótima   |

## CAPÍTULO 1

# INTRODUÇÃO

A geração de resíduos em composições e volumes variados está associada ao descarte final dos materiais produzidos pela ação humana. Conforme a Lei 12.305 (BRASIL, 2010, p. 17), os resíduos de mineração são gerados nas atividades de pesquisa, extração ou beneficiamento de minérios.

A operação da lavra mobiliza grandes quantidades de solo e estéril, assim como o beneficiamento mineral detém uma parcela considerável dos rejeitos de mineração produzidos pelas empresas do setor, por isso, a maneira como o resíduo é descartado no meio ambiente gera discussões e uma busca por alternativas menos prejudiciais. As falhas na implementação de leis ambientais e até mesmo a ineficiência da fiscalização sobre as empresas de mineração são alguns dos incentivos aos problemas ambientais.

A construção civil possui uma demanda crescente de jazidas de qualidade para suprir o seu mercado e estas estão cada vez mais escassas, assim, é possível que o resíduo produzido na mineração possa ser reaproveitado em obras civis. Os estudos sobre rejeitos e estéreis de mineração mostram o grande potencial de seus empregos na engenharia civil, contudo, devem ser realizados os ensaios necessários para estabelecer as suas aplicações (Colturato, Ferreira, & Araújo, 2013).

No Brasil, as pesquisas relacionadas a destinação do resíduo de mineração para emprego em obras civis estão ganhando ênfase. A redução de custos econômicos, substituição parcial de agregados e a ideia de sustentabilidade gerada no novo encaminhamento destes resíduos são alguns dos pontos relevantes nas pesquisas produzidas.

Uma das possibilidades seria a inserção parcial do resíduo da mineração ao solo para destiná-lo a camadas de pavimentação (subleito, sub-base e base). A construção de estradas exige grandes quantidades de solo com características geotécnicas favoráveis, porém, o solo natural é um material complexo e variável,

sendo comum que este não preencha total ou parcialmente as exigências dos projetos geotécnicos (Szeliga & Araújo, 2010).

Na busca por meios sustentáveis e economicamente viáveis, a contribuição desse trabalho visa o reaproveitamento do rejeito de granito descartado em pilhas no estado do Rio Grande do Norte. Para a análise, almeja-se o reaproveitamento de rejeito do beneficiamento de granito oriundo da produção de brita para uso em construção civil. A jazida responsável pela produção do rejeito localiza-se na região do Seridó Potiguar, na divisa dos municípios de Caicó/RN e São Fernando/RN. O método estudado busca a substituição parcial do solo, este de origem local (Caicó/RN), ao propor porcentagens variadas do rejeito de granito misturado ao solo para uso em camadas de pavimentação. O parâmetro de avaliação do rejeito de mineração estudado será o atendimento as normas relacionadas aos ensaios físicos e mecânicos dos órgãos como DNER, DNIT e ABNT.

### **1.1. JUSTIFICATIVA**

O consumo desenfreado dos recursos minerais disponíveis no planeta pode esgotar as reservas naturais das próximas gerações. A construção civil apresenta-se como potencial consumidor dos recursos renováveis e não renováveis do mundo.

É necessário diminuir o ritmo e adotar novas medidas que possam substituir os recursos cuja vida útil está dando sinal de alerta e que um dia poderão se esgotar.

A substituição dos insumos da construção civil pelos resíduos produzidos na exploração de minérios pode contribuir com a preservação das reservas naturais. No estudo realizado, buscou-se o emprego do rejeito oriundo do beneficiamento de granito como uma técnica para substituição parcial do solo, ambos os materiais oriundos da região do Seridó. A temática envolve a ideia de uma destinação assertiva do rejeito evitando assim problemas ambientais, redução de custos orçamentários em obras e a obtenção de uma nova mistura de material para as camadas de pavimentação.

## **1.2. OBJETIVOS DA PESQUISA**

### **1.2.1. OBJETIVO GERAL**

Avaliar o potencial da utilização de um rejeito oriundo do beneficiamento de granito em proporções de 10%, 20% e 30% na substituição parcial em massa de sólidos de um solo para uso em camadas de pavimentação (subleito, sub-base e base).

### **1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Os objetivos específicos compreendem:

- Estudo dos parâmetros químicos, mineralógicos, físicos e mecânicos do solo, rejeito de granito e das novas misturas conforme as proporções do rejeito incorporadas ao solo;
- Comparação dos resultados obtidos com e sem a adição do rejeito de beneficiamento do granito ao solo;
- Avaliação das vantagens e desvantagens da substituição parcial do solo com o rejeito de granito para as camadas de pavimentação;
- Determinação da melhor proporção para mistura de solo e rejeito de granito;
- Comparação e análise dos custos orçamentários ao propor a substituição parcial do solo pelo rejeito de granito nas camadas de pavimentação (subleito, sub-base e base).

## CAPÍTULO 2

# REVISÃO DA LITERATURA

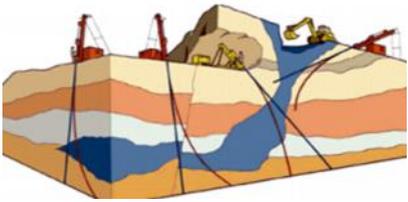
O capítulo 2 faz uma breve revisão dos estudos relacionados aos rejeitos de mineração e suas aplicações na pavimentação, além da interação da mineração com o meio ambiente. A revisão almeja os conhecimentos necessários acerca dos assuntos abordados assim como os principais resultados dos trabalhos já realizados nesta área.

### 2.1. ATIVIDADE DE EXTRAÇÃO E BENEFICIAMENTO NA MINERAÇÃO

A etapa inicial da exploração mineral compreende o estudo e reconhecimento das jazidas atrelando nesse processo a potencialidade econômica para obtenção de novos recursos minerais. Em síntese, a viabilidade dos dados na prospecção mineral e análises relacionadas aos riscos ambientais são algumas das fases primordiais que antecipam o processo de exploração em campo.

Segundo Dutra (2014), a mineração possui diversas fases interligadas, sendo as principais: prospecção e pesquisa mineral, lavra de jazidas, beneficiamento de minérios e a recuperação ambiental.

**Quadro 1 - Fases da extração mineral**

|   |   |
|---|---|
|  | <p>A pesquisa mineral compreende levantamentos geológicos e geofísicos, busca por afloramentos, sondagens minerais, análises físicas e químicas, concentrações minerais e outros ensaios para caracterização das propriedades minerais.</p> |
|---|---|

|  |  |
|--|--|
|   | <p>A lavra ocorre por meio da exploração dos minerais úteis dos afloramentos, seja ela na superfície ou subterrânea.</p>                   |
|   | <p>A fase do beneficiamento está relacionada à transformação por meio da ação humana do minério em matéria-prima para comercialização.</p> |
|  | <p>A recuperação ambiental é caracterizada como última parte do processo a ser realizada, ela acontece no desmonte da indústria.</p>       |

### 2.1.1. RESÍDUOS PRODUZIDOS PELA INDÚSTRIA DA MINERAÇÃO

Silva, Viana, & Cavalcante (2011) afirmam que as quantidades de resíduos gerados variam conforme a extração, a concentração mineral na rocha matriz e a localização da jazida, sendo os volumes produzidos difíceis de serem caracterizadas devido as tecnologias envolvidas nos processos de extração e beneficiamento.

A extração mineral produz na etapa de lavra e beneficiamento dois tipos de resíduos a serem descartados: os estéreis e os rejeitos, respectivamente. Ambos os materiais não possuem valores comerciais e por isso são dispensados pelas empresas de mineração.

O estéril eliminado na etapa de lavra é constituído por minérios de formas e tamanhos diversos, apresenta baixa qualidade, contribuição de outros minérios e podem apresentar intemperismo decorrente da rocha mãe.

**Figura 1 – Estéril**

**Fonte: Página Alb Transportes<sup>1</sup>.**

De acordo com o DNPM (2001), a fase do beneficiamento mineral almeja o preparo granulométrico, concentração e purificação dos minérios sem alteração das suas constituições, portanto, o rejeito produzido nesta etapa apresenta menores granulometrias com presença de finos e podem ser descartados na composição de sólidos + água (barragens de rejeitos) ou apenas sólidos (pilhas de rejeitos).

**Figura 2 - Barragem de rejeito**

**Fonte: Página Imprensa do Cerrado<sup>2</sup>.**

---

<sup>1</sup> Disponível em: <<http://www.albtransportes.com.br/obra/transporte-interno-de-material-esteril-prometalica-mineracao-centro-oeste-s-a-americano-do-brasil-go>>. Acesso em: 28 fev. 2019.

<sup>2</sup> Disponível em: <<http://www.impresadocerrado.com.br/materia/656/crixas-tera-que-eliminar-barragem-de-rejeito-de-mineracao>>. Acesso em: 28 fev. 2019.

### **2.1.2. REAPROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS DE MINERAÇÃO NA PAVIMENTAÇÃO**

Os problemas envolvendo o descarte final dos resíduos da mineração são diversos, podendo citar o rompimento de barragens de rejeitos, poluição ambiental (contaminação do solo e lençol freático por minérios pesados) e como visualizado nos últimos anos, perdas relacionadas a vidas humanas. O reaproveitamento dos resíduos minerais é necessário para mitigar os seus impactos ambientais.

A indústria da construção civil é capaz de absorver os resíduos de mineração ao propor uma nova utilização nas obras civis. Entre os exemplos de reutilização, vincula-se a produção de tijolos ecológicos com a inserção parcial de rejeito, camadas de proteção para aterros sanitários, blocos para pavimentação, camadas de pavimentação (subleito, sub-base e base) entre outras aplicações.

Os trabalhos relacionados ao tema de reaproveitamento do resíduo de mineração para camadas de pavimentação são diversos. Nesse sentido, Batalione (2007) propôs a utilização de rejeitos finos de granito na estabilização de solos tropicais da região noroeste de Goiás, chegando a conclusão da potencialidade do uso deste rejeito para a maior parte dos solos analisados, além de sua viabilidade econômica.

Nos estudos de reaproveitamento direcionados ao minério de ferro, Colturato, Ferreira, & Araújo (2013) fizeram contribuições a partir das definições de ações para utilização dos rejeitos em larga escala. Os resultados mostraram que, no Brasil, o rejeito de minério de ferro apresenta um enorme passivo ambiental, porém este material pode ser destinado a utilização em obras de engenharia. Na pesquisa de Gratão, Pereira, & Ribeiro (2006), foi utilizada a proposta para reutilização dos rejeitos de minério de ferro em obras rodoviárias com um solo tropical da região Centro-Oeste, intercalando a adição de cal. As novas misturas foram submetidas aos ensaios de compactação e compressão simples.

Para o resíduo produzido no beneficiamento da scheelita, Linhares & Silva (2014) adotaram a proposta de reaproveitá-lo em camadas de pavimentos para amenizar os danos causados no meio ambiente. A metodologia contou com a realização dos ensaios de laboratório nas proporções de 60% solo e 40% scheelita. Os resultados experimentais não apresentaram acréscimos de capacidade de suporte ao solo, tornando-o incapaz de utilizar como material estabilizante. Gerab (2014) propôs a reutilização do rejeito oriundo do beneficiamento da scheelita, decorrente da atividade mineradora do grupo de mineração Tomaz Salustino, do município de Currais Novos. A incorporação do resíduo mostrou-se eficiente para as camadas de sub-base, no proctor modificado. Para as energias intermediária e normal, a recomendação de uso seria para a camada de subleito.

Lima (2015) propôs a estabilização granulométrica de um solo ao adicionar agregados de calcário nas camadas de pavimentos. As proporções de calcário adicionadas atingiram os valores de 25%, 50% e 75% com relação a massa da mistura. As conclusões pertinentes aos ensaios concluíram que as misturas compostas de 50% de ambos os materiais (solo e calcário) apresentaram os melhores resultados, com uso restrito nas camadas de sub-base de pavimentos.

Conforme Szeliga & Araújo (2010), a aplicação das cinzas de carvão para aproveitamento em camadas de pavimentação melhorou o comportamento mecânico do solo misturado a este rejeito. As conclusões sobre as novas misturas de solo e rejeito mostraram uma melhoria em grande parte das propriedades mecânicas, tornando o seu emprego viável para fins de pavimentação.

Na possibilidade de avaliar a reutilização da areia de fundição, Klinsky & Fabbri (2009) misturaram este rejeito a solos argilosos, destinando a nova mistura a camadas de base e sub-base para rodovias de tráfego baixo e vias urbanas na região de Sertãozinho/SP. A obtenção das novas misturas a proporções definidas resultou numa proposta de 60% da areia de fundição para uso nas camadas de pavimentação.

Além dos rejeitos de mineração, outras possibilidades surgem como alternativa para reaproveitamento nas camadas de pavimentação. Pereira

(2012) utilizou-se do método da estabilização química com cimento e cinzas de lodo, propondo a estabilização de um solo ao investigar o comportamento mecânico das novas misturas para uso em base e sub-base de pavimentos rodoviários. Os resultados mostraram a melhora nas características do solo, não importando o material estabilizante, porém, priorizou-se o uso da cinza de lodo como aditivo visando a redução de custos com o cimento.

## **2.2. O CENÁRIO DA MINERAÇÃO NO RIO GRANDE DO NORTE**

O estado do Rio Grande do Norte possui grande potencial de recursos minerais. A diversidade mineral contribui para o desenvolvimento da economia local, provocando um desempenho positivo e eficaz na geração de empregos (SEDEC/ASSECOM, 2014).

O desenvolvimento da mineração no RN ainda precisa sofrer avanços nos assuntos relacionados a infraestrutura, nas técnicas rudimentares de exploração da lavra, investimentos para a exploração dos recursos minerais e, principalmente, incentivos governamentais (Moraes, 1999).

O setor da mineração movimentou R\$ 164,7 milhões em operações no Rio Grande do Norte, ao longo de 2018. O valor ainda é baixo na comparação com outros estados brasileiros, porém é mais de cinco vezes maior que o registrado 10 anos atrás, em 2009, quando as operações potiguares somavam R\$ 29,3 milhões (Jácome, 2019).

Por mais que muitas vezes não seja lembrado como um produto fruto de minério, o produto que gera maior receita no estado é a água mineral, cujas operações somaram R\$ 556,8 mil no ano passado. Em seguida, vem o calcário, com R\$ 545,7 mil (Jácome, 2019). Os 10 produtos minerais com maiores operações no Rio Grande do Norte estão listados na

**Quadro 2 - Principais minérios explorados no RN**

|                     |
|---------------------|
| Água Mineral        |
| Calcário            |
| Granito             |
| Scheelita           |
| Tungstênio          |
| Xisto               |
| Feldspato           |
| Calcário Dolomítico |
| Caulim              |
| Gabro               |

**Fonte: Igor Jácome (2019).**

O granito está presente em quantidade expressiva na região do Seridó potiguar, destacando dois segmentos de produção: rochas ornamentais e brita. A produção de rochas ornamentais vincula-se a cidade de Parelhas/RN, enquanto que Caicó/RN produz a brita para comercialização na construção civil. O DNPM relatou em 2018, de acordo com os dados base de 2015, um total de 996 usinas de britagem instaladas no Brasil com registro de produção. Desta quantidade, 10 estão presentes no RN.

### **2.2.1. O GRANITO**

O granito apresenta na sua composição, principalmente, os minerais quartzo, feldspato e mica. Entre suas principais características, destacam-se o

alto grau de dureza e cristalinidade. A densidade média do granito situa-se entre 2,65 g/cm<sup>3</sup> e 2,75 g/cm<sup>3</sup>.

O Brasil é um dos principais produtores de granito e está entre os maiores exportadores do mundo. Cada estado brasileiro possui extração da rocha e dependendo do local, o granito pode sofrer variações. O granito é utilizado como rocha ornamental e na construção civil.

A norma da ABNT NBR 15012 (2013) define rocha ornamental como um material rochoso natural, submetido a diferentes graus ou tipos de beneficiamento, utilizado para exercer uma função estética. Entre as diversas aplicações, este material é destinado para o acabamento de superfícies como piso, paredes e fachadas, composições arquitetônicas, decoração e mobiliário.

Na construção civil, o granito é explorado para produção e comercialização da brita ou pedra britada. Este processo envolve o beneficiamento da rocha obtida através de maciços com auxílio de explosivos, encaminhando os fragmentos maiores para tratamento e obtenção de frações menores. As novas dimensões da brita, obtida pós-beneficiamento, variam de 4,8mm a 100mm. Este material é caracterizado como um agregado artificial, de tamanho graúdo.

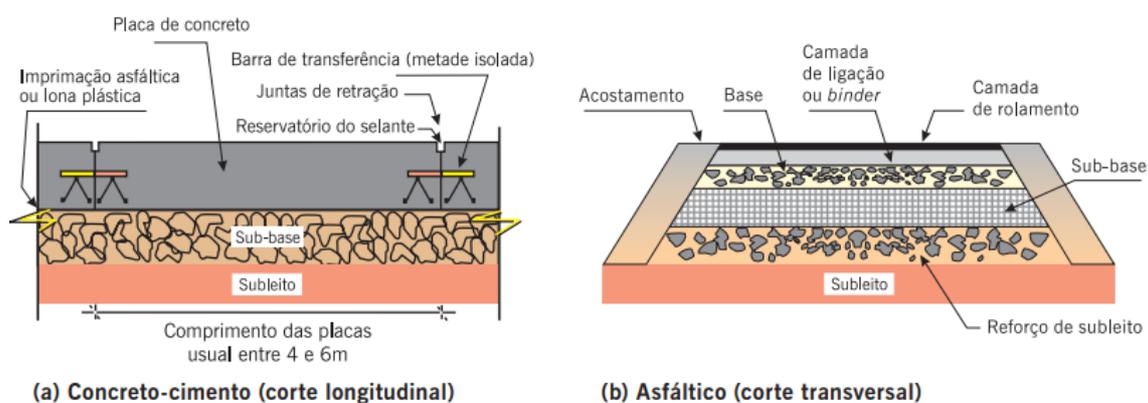
### **2.3. PAVIMENTAÇÃO**

O pavimento é uma estrutura de múltiplas camadas de espessuras finitas, construída sobre a superfície final de terraplenagem, destinada técnica e economicamente a resistir aos esforços oriundos do tráfego de veículos e do clima, propiciando aos usuários conforto, economia e segurança (Bernucci et al., 2006). O DNIT (2006) considera o pavimento como sendo, por injunções de ordem técnico-econômicas, uma estrutura de camadas em que materiais de diferentes resistências e deformabilidades são colocados em contato resultando em um elevado grau de complexidade no que respeita ao cálculo de tensões e deformações atuantes.

Os pavimentos são classificados tradicionalmente em dois tipos básicos:

- a) Pavimentos rígidos: este pavimento possui a camada de revestimento formada por uma placa de concreto de cimento Portland. A espessura é fixada em função da resistência à flexão das placas e das camadas subjacentes, podendo ser armadas ou não com barras de aço. Usualmente a subcamada deste pavimento é a sub-base, pois a qualidade do material equivale a camadas de base de um pavimento flexível.
- b) Pavimentos flexíveis: são as camadas de revestimento compostas por uma mistura constituída de agregados e ligante asfáltico. As demais camadas constituintes deste tipo de pavimento incluem: base, sub-base e subleito.

**Figura 3 - Tipos de pavimentos**



**Fonte: Bernucci et al. (2006).**

O revestimento asfáltico na composição de pavimentos flexíveis é uma das soluções mais tradicionais e utilizadas na construção e recuperação de vias urbanas, vicinais e de rodovias (Nakamura, 2011). De acordo com os dados da Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Asfalto (Abeda), mais de 90% das estradas nacionais são de revestimento asfáltico.

Os sistemas de pavimentos flexíveis são constituídos de três camadas: base, sub-base e subleito.

O subleito é caracterizado como o terreno da fundação onde será apoiado todo o pavimento. Deve ser considerado e estudado até as profundidades de atuação de cargas significativas estimadas em projeto. O CBR da camada de subleito deve possuir valores maiores ou iguais a 2%, caso não atenda a esta condição, recomenda-se a substituição do solo por outro com melhores condições geotécnicas.

A camada de sub-base possui espessura constante transversalmente e será executada sobre o subleito regularizado. Para o atendimento do CRB desta camada, o material deve possuir um valor maior ou equivalente a 20%.

A base é a última das camadas a ser executada antes de receber o revestimento, ela é destinada a resistir e distribuir os esforços oriundos do tráfego e distribuí-los ao subleito. O CBR deve atender o tipo de tráfego rodoviário. Para rodovias com tráfego leve, o CBR mínimo equivale a 40%, no tráfego médio o atendimento é 60% e para o tipo pesado, o CBR deve atender o valor de 80%.

Além das condições mínimas para o tráfego, deve ser considerada em conjunto a análise de expansão das camadas numa situação de saturação, para condicionar o solo para as camadas de pavimentação.

De acordo com as estipulações de norma, os valores de expansão máxima devem atender aos índices a seguir:

- Subleito < 1%
- Sub-base < 1%
- Base < 0,5%

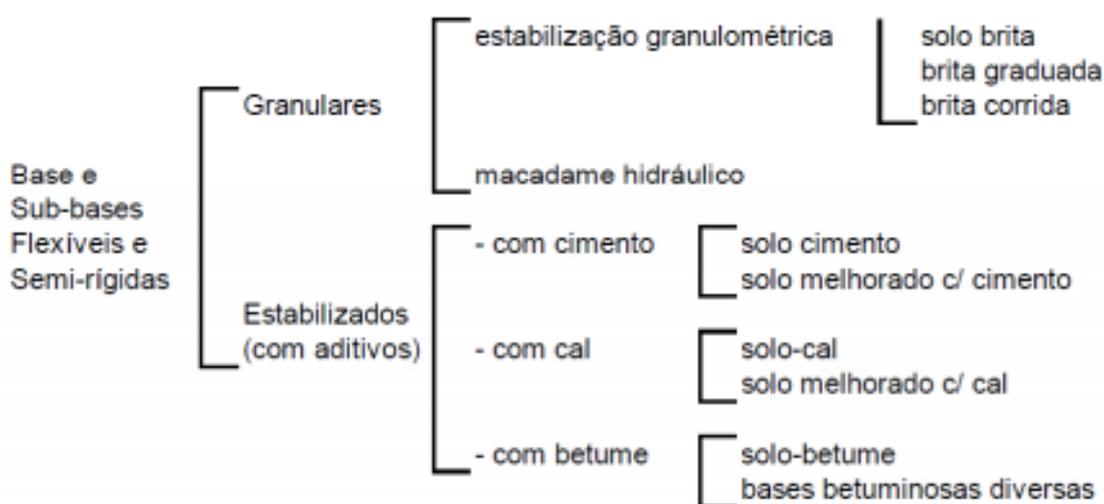
#### **2.4. ESTABILIZAÇÃO GRANULOMÉTRICA COMO TÉCNICA DE MELHORAMENTO DOS SOLOS**

Quando as camadas inferiores dos pavimentos não apresentam características capazes de atenderem às exigências mínimas das normas brasileiras, faz-se necessário melhorar as características do solo.

A estabilização granulométrica altera as propriedades de um solo ao melhorar seu comportamento sob o ponto de vista de aplicações à engenharia. A estabilização pode ser utilizada de modo natural ou artificial.

A técnica natural envolve o pré-adensamento devido as ocorrências geológicas, enquanto que na artificial são realizados processos devido a intervenção humana, sendo eles: compactação, drenagem, injeções de cimento, substituição parcial de solos por outros materiais e outros. Entre os efeitos esperados pelo melhoramento dos solos, espera-se o aumento da resistência da nova composição de materiais, redução de compressibilidade e permeabilidade. A Figura 4 denota os tipos de estabilização de solos mais usuais.

**Figura 4 - Estabilização das camadas de pavimentação**



Fonte: DNIT (2006).

Desde 1939, o melhoramento de solos para as camadas de pavimentos é usual no Brasil. A ABCP relata que a construção da estrada Caxumba-Areias foi o marco inicial para a pavimentação e que desde então mais de 25.000 Km foram concebidos com esta solução. Entre as principais vantagens de se utilizar essa técnica de estabilização, tem-se: baixo custo inicial e alta durabilidade.

## **2.5. CORRELAÇÃO DOS ENSAIOS QUÍMICO, MINERALÓGICO, FÍSICOS E MECÂNICOS COM O SISTEMA DE CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS**

Os ensaios químicos, mineralógicos, físicos e mecânicos são essenciais para definir os parâmetros dos solos. As propriedades destes ensaios têm por objetivo a efetiva contribuição na tomada de decisões de pesquisas, projetos geotécnicos e controle de obras (Batalione, 2007).

Dentre os ensaios abordados neste trabalho, destacam-se:

- Análise granulométrica;
- Limites de consistência;
- Massa específica;
- CBR;
- Expansão;
- Compactação;
- DRX e
- FRX.

Os solos argilosos, em regra, possuem massa específica baixa, com valores de 1,5 a 1,4 g/cm<sup>3</sup> e valores próximos a 30% para a umidade ótima. Os solos que possuem valores de densidade na faixa de 2 a 2,1 g/cm<sup>3</sup> e umidade ótima (w) no intervalo de 9 a 10%, são representados pelas areias com pedregulhos (Pinto, 2006).

O dimensionamento das camadas de pavimentos considera as informações fornecidas no ensaio de Índice Suporte Califórnia (ISC), além de outros parâmetros do solo. Além disso, o ensaio de CBR determina a expansão dos solos. A expansão relaciona a condição saturada do solo com informações relativas aos índices de vazios e mineralogia do solo.

Devido a diversidade assim como os vários comportamentos de um solo quando solicitado, Batalione (2007) afirma a necessidade de se existir um sistema para classificar os solos.

Os sistemas de classificação analisam os solos sob os aspectos de composição e forma dos grãos, plasticidade, índice de vazios, origem e processos de formação, comportamento mecânico e outros. Dos sistemas de classificação existentes, o sistema unificado (SUCS) e o sistema transportation Research board (TBR/HRB/AASHTO) são os mais conhecidos.

## **2.6. A MINERAÇÃO E O MEIO AMBIENTE**

O meio ambiente é o espaço onde se desenvolvem as atividades humanas e a vida dos animais e vegetais (DNIT, 2006). A má utilização deste espaço, pelos seres humanos, tem provocado graves consequências ao meio ambiente.

As alterações do meio ambiente provocadas por obras civis provenientes de processos tecnológicos deverão ser consideradas de modo a não prejudicar a população, a não criar condições adversas às atividades sociais e econômicas, e não ocasionar danos à biota ou a qualquer recurso natural (DNER, 1996).

Os diversos setores das indústrias não podem deixar de serem isentos de suas ações, entretanto, os efeitos da mineração à luz da própria sociedade parece assumir proporções maiores (Ministério da Educação, 2017).

Outras atividades, como a agricultura, impactam mais no meio ambiente do que a mineração, porém, a falta de divulgação de suas atividades, benefícios e comprometimento com as causas ambientais deixam transparecer o contrário. No caso específico da mineração, o maior desafio está na questão ambiental.

Para reduzir os impactos gerados na atividade da mineração, é necessário aumentar as exigências ambientais assim como a fiscalização, incentivando mudanças no comportamento das mineradoras. É provável que nos próximos anos todas as mineradoras passem por uma profunda transformação

na reavaliação dos seus processos de lavra e de beneficiamento. Caso contrário, os custos advindos das leis que regulam as questões ambientais poderão inviabilizar a grande maioria dos projetos de mineração (Ministério da Educação, 2017).

As principais tendências tecnológicas na gestão ambiental na mineração, como para todos os demais empreendimentos, apontam na direção de que as empresas tenham sistemas de gestão ambiental formais e certificados, ao menos segundo a ISO 14.000. Em alguns casos, procura-se também a certificação dos mesmos sistemas perante outras normas, como é o caso da britânica BS 7750, ou normas da União Europeia (MMA, 2001).

A mineração brasileira, no campo da gestão ambiental e no plano de seu relacionamento com a sociedade, tem logrado muitos avanços, vários deles em linha com as tendências internacionais. Todavia, estes avanços ainda precisam ser disseminados pela maioria das empresas e ainda não foram plenamente incorporados pelos órgãos reguladores (Sánchez, 2006).

## CAPÍTULO 3

**MATERIAIS E MÉTODOS**

Para atingir os objetivos e realizar os ensaios de laboratórios propostos neste trabalho, duas fases distintas foram adotadas: A primeira fase consistiu na coleta em campo dos materiais usados na pesquisa. O rejeito de beneficiamento do granito foi obtido de uma jazida localizada na divisa dos municípios de Caicó/RN e São Fernando/RN e o solo em Caicó/RN, nos meses de abril e maio de 2018, respectivamente. Na segunda fase se realizou os ensaios de caracterização química, mineralógica, física e mecânica dos materiais coletados. Os ensaios visam as propriedades das amostras de solo + rejeito para utilização em camadas de base, sub-base e reforço do subleito da pavimentação. Os ensaios e demais análises foram promovidas no Laboratório de Solos, localizado no Núcleo de Tecnologia UFRN – Natal/RN e no NUPPRAR/UFRN.

**3.1. MATERIAIS**

Os materiais usados nos ensaios são caracterizados por amostras do rejeito de beneficiamento do granito e um solo, conforme a Figura 5.

**Figura 5 - Materiais utilizados na pesquisa (rejeito e solo)**



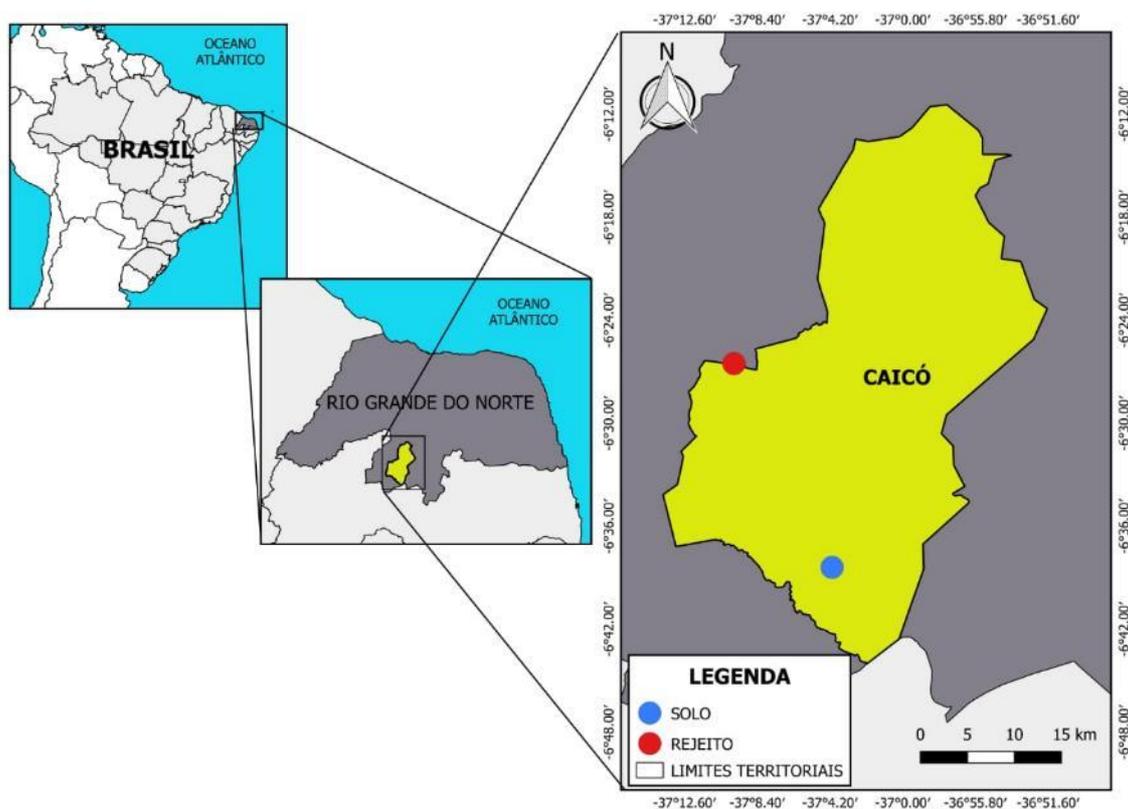
(a) Amostra de Solo, (b) Amostra do Rejeito de Granito.

**Fonte: Acervo da autora (2018).**

O rejeito foi coletado de uma jazida de granito localizada nos limites dos municípios de Caicó/RN com São Fernando/RN, na coordenada 6.44° Sul e 37.16° Oeste. A sua propriedade e o direito de extração pertencem a Empresa de Razão Social Britador Seridó Ltda.

Visando a localização para obtenção do rejeito e a viabilidade econômica deste estudo para os municípios abrangidos pela jazida de granito, ficou condicionado a este trabalho a análise de um solo local cuja predominância atendesse a necessidade de execução das camadas de pavimentação. As coordenadas 6.64° Sul e 37.07° Oeste denotam o ponto espacial de coleta do solo no município de Caicó/RN. A Figura 6 mostra a localização geográfica dos materiais.

**Figura 6 - Localização do Britador Seridó**



**Fonte: Elaborada pela autora (2019).**

No período em que ocorreu a coleta do rejeito de granito, a região do Seridó encontrava-se sob fortes chuvas, por isso, o material foi coletado ainda

úmido e acondicionado em sacos para que este pudesse ser deslocado para o Laboratório de Solos em Natal/RN. O manuseio do material para os ensaios em laboratório só ocorreu após secagem através de espalhamento e exposição ao ar.

Com relação a quantidade de material coletada para utilização nos ensaios, foram disponibilizadas pela empresa uma quantidade superior a 70 kg, sendo o valor suficiente para as porcentagens de rejeito propostas ao estudo.

O rejeito proposto na inserção das camadas de pavimentação é proveniente do beneficiamento da rocha granítica para a produção de brita destinada a construção civil. O beneficiamento do granito e a obtenção da brita produzem dois tipos de rejeitos: um rejeito com maiores índices de finos e outro cuja granulometria assemelha-se a características de pequenos pedriscos (pó de pedra).

Para análise do trabalho, a coleta do rejeito foi realizada na pilha de material com maior porcentagem de finos. A Figura 7 mostra uma das pilhas de rejeito estocadas na propriedade do Britador Seridó.

**Figura 7 - Pilha do rejeito de granito**



**Fonte: Acervo da autora (2018).**

Com relação ao solo, foram coletados para os ensaios em laboratório aproximadamente 200kg de material. O armazenamento do solo foi realizado em sacos hermeticamente fechados para manter as condições necessárias para

preservação das amostras, distribuídos em 8 sacos com aproximadamente 25kg. A quantidade do solo natural coletado na região do Seridó foi suficiente para realização dos ensaios. A Figura 8 mostra a disposição do solo ao chegar no Laboratório de solos UFRN, em Natal/RN.

**Figura 8 - Solo coletado no município de Caicó/RN**

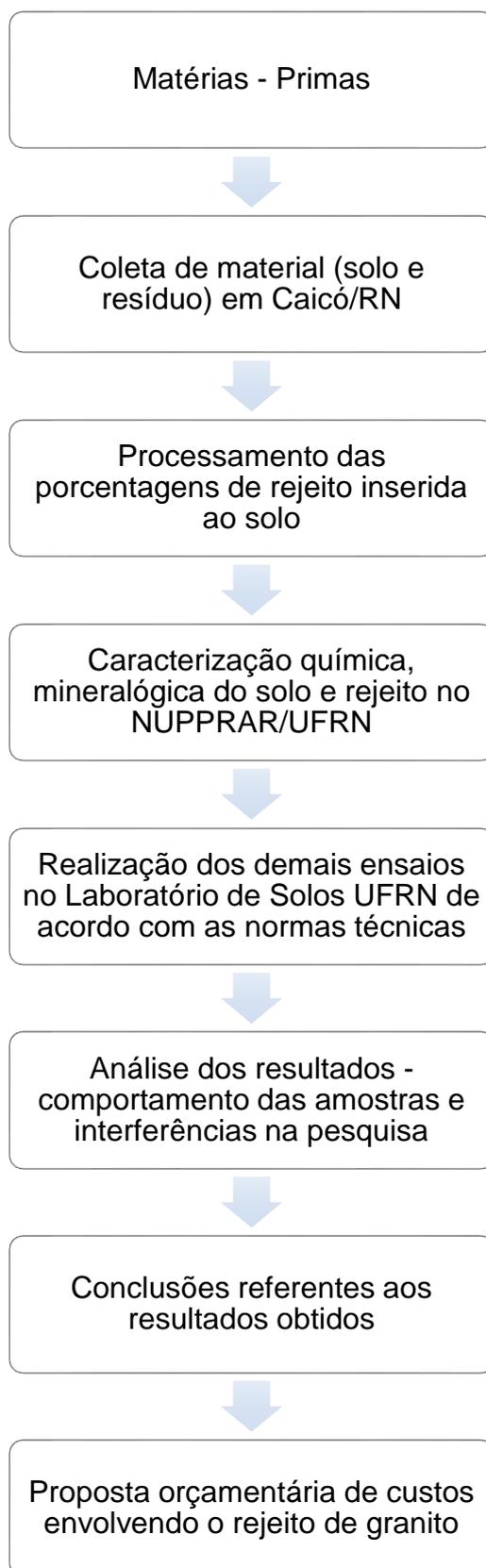


**Fonte: Acervo da autora (2018).**

Ao realizar uma caracterização inicial dos materiais obtidos na região do Seridó sob o ponto de vista visual, nota-se a presença de argilominerais no solo natural e uma coloração vermelha, com indícios característicos da presença de ferro e alumínio. Para uma análise inicial do rejeito de granito, este apresenta semelhanças com a granulometria de uma areia fina e a sua cor é cinza, sem a presença de materiais argilosos, pois a rocha-mãe é um granito. O granito apresenta na sua composição o quartzo, composto bastante presente nas areias, além de outros minerais, tais como: feldspatos, micas e anfibólios.

### **3.2. MÉTODOS**

A metodologia da pesquisa adotada no fluxo do estudo está representada na Figura 9. A sequência a seguir aborda o desenvolvimento deste trabalho e as principais etapas que contribuíram para a elaboração dos resultados obtidos.

**Figura 9 - Fluxograma da pesquisa**

**Fonte: Elaborada pela autora (2019).**

A definição dos materiais e seus locais de coleta permitiram o prosseguimento para as etapas seguintes, viabilizando os ensaios em laboratório para obtenção dos resultados de acordo com as amostras ensaiadas e as conclusões pertinentes.

Com relação às normas técnicas utilizadas nos ensaios de laboratório, a **Erro! Fonte de referência não encontrada.** estabelece as principais:

**Tabela 1 – Principais ensaios técnicos da pesquisa**

| <b>RELAÇÃO DOS PRINCIPAIS ENSAIOS</b>     |                    |   |
|---|--------------------|---|
| <b>ETAPA</b>                              | <b>NORMA</b>       | <b>ENSAIO</b>   |
| <b>CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E GEOTECNICA</b> | ABNT NBR 6457/2016 | Amostras de solo - Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização   |
|   | ABNT NBR 6459/2016 | Solo - Determinação do limite de liquidez   |
|   | ABNT NBR 6458/2016 | Grãos de pedregulho retidos na peneira de 4,8mm - Determinação da massa específica, massa específica aparente e da absorção de água |
|   | ABNT NBR 7180/2016 | Solo - Determinação do limite de plasticidade   |
|   | ABNT NBR 7181/2016 | Solo - Análise granulométrica   |
|   | ABNT NBR 7182/2016 | Solo - ensaio de compactação  |
|   | DNIT 172/2016      | Solos - Determinação do Índice de Suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas - método de ensaio                         |
|   | ABNT NBR 9895/2016 | Índice Suporte Califórnia   |
| <b>CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA</b>        |                    | DRX   |
| <b>CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA</b>             |                    | FRX   |

Fonte: Elaborada pela autora (2019).

### **3.2.1. CARACTERIZAÇÃO DOS ENSAIOS**

#### **3.2.1.1. CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E MINERALÓGICA**

As análises químicas e mineralógicas foram realizadas em laboratório especializado – NUPPRAR, onde foram fornecidas amostras de solo e rejeito necessárias para os ensaios de DRX e FRX.

O ensaio de FRX realiza uma análise qualitativa dos elementos químicos ( $Z > 10$ ) ao estabelecer as suas proporções além de ser uma técnica não destrutiva. Para a análise química, o ensaio de FRX utilizou o equipamento EDX-720 da marca Shimadzu, onde por limitação do ensaio somente elementos entre Na (11) e U (92) foram analisados. Na avaliação de perda ao fogo, o material foi seco em estufa por 24 horas em temperatura de  $110^{\circ}\text{C}$ , sendo posteriormente disposto ao aquecimento de até  $1000^{\circ}\text{C}$  por 60 minutos. O objetivo deste ensaio é a determinação dos óxidos na forma de porcentagem.

O método de ensaio do DRX permite a identificação mineral através da caracterização de sua estrutura cristalina. Na identificação mineralógica das amostras de solo e rejeito, a técnica de DRX usou o equipamento XRD-600 da Shimadzu, fornecendo as fases cristalinas dos elementos presentes nos materiais.

#### **3.2.1.2. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E MECÂNICA**

Os ensaios de laboratório para caracterização física e mecânica foram conduzidos no Laboratório de Solos da UFRN, visando as normas técnicas e os equipamentos necessários para o prosseguimento destes.

Para padronização dos resultados, foram designadas siglas para as amostras com o intuito de facilitar a compreensão dos resultados:

Tabela 2 - Identificação das amostras ensaiadas

| DESCRIÇÃO DAS AMOSTRAS | SIGLA |
|------------------------|-------|
| Solo natural           | AM01  |
| Rejeito de granito     | AM02  |
| 10% rejeito e 90% solo | AM03  |
| 20% rejeito e 80% solo | AM04  |
| 30% rejeito e 70% solo | AM05  |

Fonte: Elaborada pela autora (2019).

O ensaio de granulometria por sedimentação produziu através de representação gráfica as curvas granulométricas levando-se em consideração os tamanhos das partículas de solo de cada amostra (AM01 a AM05). A Figura 10 denota as frações de solos após a realização do peneiramento no final do ensaio.

Figura 10 - Frações de solos (AM01) e rejeito de granito (AM02)



Fonte: Acervo da autora (2018).

Semelhante a granulometria, foram conduzidos ensaios de acordo com a NBR 6458:2016 para obtenção da massa específicas das amostras.

Os limites de consistência foram elaborados para as amostras AM01 a AM05. O método contou com dois ensaios distintos: limite de liquidez e limite de plasticidade. O ensaio de limite de liquidez é conduzido com a concha de Casagrande, enquanto que o limite de plasticidade produz através de um

gabarito a moldagem do solo para obtenção dos resultados. Ressalta-se que nem sempre é possível a realização destes ensaios para os solos.

A Figura 11 mostra uma das etapas dos ensaios para determinação dos limites de consistência. A condição retrata a retirada do material pós-estufa para executar as pesagens do solo (AM01). Procedimentos semelhantes foram elaborados para as demais amostras (AM03 e AM04).

**Figura 11 - Ensaio de limite de plasticidade e liquidez – solo**



**Fonte: Acervo da autora (2018).**

O ensaio de compactação foi executado com reaproveitamento de material, obtendo 5 pontos para elaborar a curva gráfica deste ensaio. O resumo dos corpos-de-prova produzidos no ensaio de compactação está disponibilizado na Tabela 3.

**Tabela 3 - Corpos-de-prova produzidos para o ensaio de compactação**

|              | <b>ENERGIA NORMAL</b> | <b>ENERGIA INTERMEDIÁRIA</b> | <b>ENERGIA MODIFICADA</b> |
|--------------|-----------------------|------------------------------|---------------------------|
| <b>AM01</b>  | 1                     | 1                            | 1                         |
| <b>AM02</b>  | 1                     | 1                            | 1                         |
| <b>AM03</b>  | 1                     | 1                            | 1                         |
| <b>AM04</b>  | 1                     | 1                            | 1                         |
| <b>AM05</b>  | 1                     | 1                            | 1                         |
| <b>TOTAL</b> | 5                     | 5                            | 5                         |

**Fonte: Elaborada pela autora (2019).**

As Figura 12 e 13 representam os corpos-de-prova moldados para o solo (AM1) e rejeito de granito (AM02).

**Figura 12 - Ensaio de compactação - solo**



Fonte: Acervo da autora (2018).

**Figura 13 - Ensaio de compactação - rejeito de granito**



Fonte: Acervo da autora (2018).

Semelhante ao ensaio de compactação, o ensaio de CBR executou no total 12 corpos-de-prova para as amostras AM01, AM03, AM04 e AM05, nas energias normal, intermediária e modificada conforme a umidade Wot definida no ensaio de compactação. A Figura 14 representa um corpo-de-prova para realização do ensaio de CBR.

**Figura 14 - Ensaio de CBR**



Fonte: Acervo da autora (2018).

Além da realização do CBR, os corpos de prova foram avaliados em termos de expansão ao serem dispostos em tanque com água para determinar as condições do material ao serem conduzidos na situação saturada.

A Figura 15 representa a etapa dos corpos-de-prova imersos em tanque para realização das leituras.

**Figura 15 - Ensaio CBR (expansão)**



Fonte: Acervo da autora (2018).

No ensaio de CBR não foram avaliadas análises para a amostra de rejeito (AM02) pois não é de interesse deste estudo vincular o uso em 100% de rejeito nas camadas de pavimentação.

### **3.2.2. ANÁLISE ECONÔMICA - ORÇAMENTO**

As tomadas de decisões relacionadas à construção de uma estrada englobam diversos fatores, entre eles, informações ligadas a largura, tipo de pavimento e suas camadas, acostamentos e outros detalhes capazes de impactar numa obra quanto aos custos financeiros.

Os trabalhos relacionando aos custos de infraestrutura rodoviária no país não são muitos, o que impacta diretamente na decisão deste estudo em elaborar uma proposta visando à reutilização do rejeito de granito para substituição parcial de solos em obras rodoviárias, sistematizando os impactos financeiros desta temática quanto aos custos analíticos de uma obra pública.

Salienta-se que vários custos relacionados à infraestrutura rodoviária devem ser considerados em um orçamento, porém, o foco deste trabalho relaciona-se apenas ao valor de execução das camadas de pavimentação para construção de um trecho de estrada.

A temática desta análise orçamentária incluirá a estimativa de um novo valor para o orçamento global de uma obra rodoviária ao empregar a substituição parcial do solo utilizado na camada tipo base da pavimentação pela melhor mistura de rejeito a ser estudada no CAPÍTULO 4, atendendo as condições de normas técnicas para destinação do novo material nas camadas de pavimentos.

Ressalta-se que os custos relacionados ao rejeito de granito devem ser equivalentes à zero para viabilizar o seu emprego, uma vez que este material não apresenta nenhum valor econômico para as empresas de mineração.

## CAPÍTULO 4

# APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

O capítulo 4 viabiliza a apresentação dos resultados obtidos em laboratório através de gráficos e tabelas. As informações referem-se as caracterizações mineralógicas, físicas e mecânicas dos materiais utilizados na pesquisa. As análises pertinentes aos resultados neste capítulo conduzem as considerações finais assim como a avaliação dos valores obtidos nos ensaios para comparação com normas de pavimentação.

### **4.1. CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E MINERALÓGICA DO SOLO E REJEITO DE GRANITO**

As análises químicas e mineralógicas das amostras de solo e rejeito de granito foram realizadas a partir dos ensaios de Fluorescência de Raios-X (FRX) e Difração de Raios-X (DRX), no NUPPRAR/UFRN.

#### **4.1.1. ANÁLISE QUÍMICA: SOLO E REJEITO DE GRANITO**

As Tabela 4 e 7 representam os resultados da análise química semiquantitativa em porcentagem (%) de peso em óxido com os valores de perda ao fogo das amostras de solo e rejeito de granito, respectivamente.

Tabela 4 - Análise química da amostra de solo (AM01)

| ÓXIDOS                         | (%)   | ÓXIDOS            | (%)  |
|--------------------------------|-------|-------------------|------|
| SiO <sub>2</sub>               | 48,66 | Na <sub>2</sub> O | 1,10 |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 24,77 | TiO <sub>2</sub>  | 1,29 |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 12,33 | CaO               | 3,12 |
| K <sub>2</sub> O               | 8,12  | MgO               | 0,61 |

Fonte: NUPPRAR (2019).

Tabela 5 - Análise química da amostra de rejeito (AM02)

| ÓXIDOS                         | (%)   | ÓXIDOS            | (%)  |
|--------------------------------|-------|-------------------|------|
| SiO <sub>2</sub>               | 54,31 | Na <sub>2</sub> O | 3,44 |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 12,67 | CaO               | 6,69 |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 7,94  | MgO               | 1,96 |
| K <sub>2</sub> O               | 12,98 | -                 | -    |

Fonte: NUPPRAR (2019).

O composto de maior percentual em óxidos, nos ensaios químicos, foi a sílica (SiO<sub>2</sub>). A alta representatividade da sílica nas amostras do solo e rejeito é um indicativo da presença de quartzo, além de ser um dos compostos minerais em maior abundância na crosta terrestre.

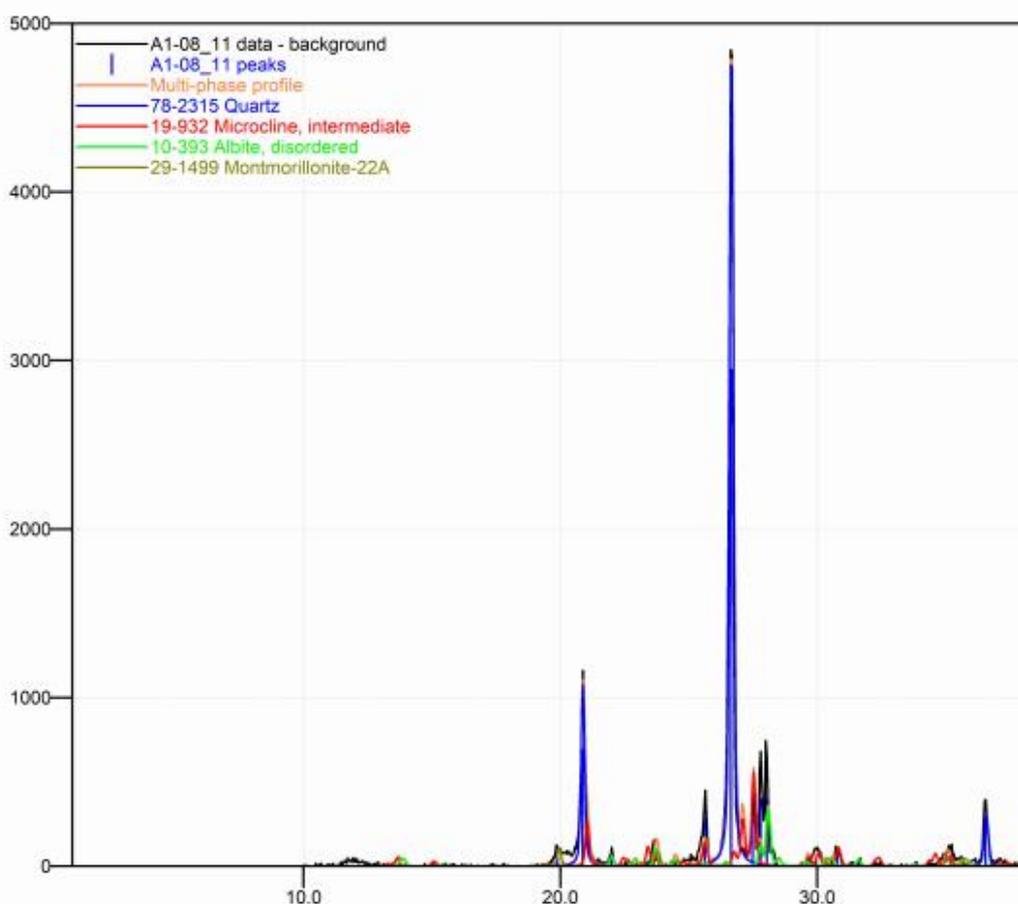
A representatividade do composto Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> na amostra AM01 é um indicativo de resistência assim como um fator preponderante para a cor vermelha deste material. Porém, outros fatores geológicos são relevantes para determinar outras propriedades deste material.

Com relação ao óxido de alumínio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), este composto está presente nos solos de regiões tropicais em decorrência dos processos geológicos e pedológicos.

#### 4.1.2. ANÁLISE MINERALÓGICA: SOLO E REJEITO DE GRANITO

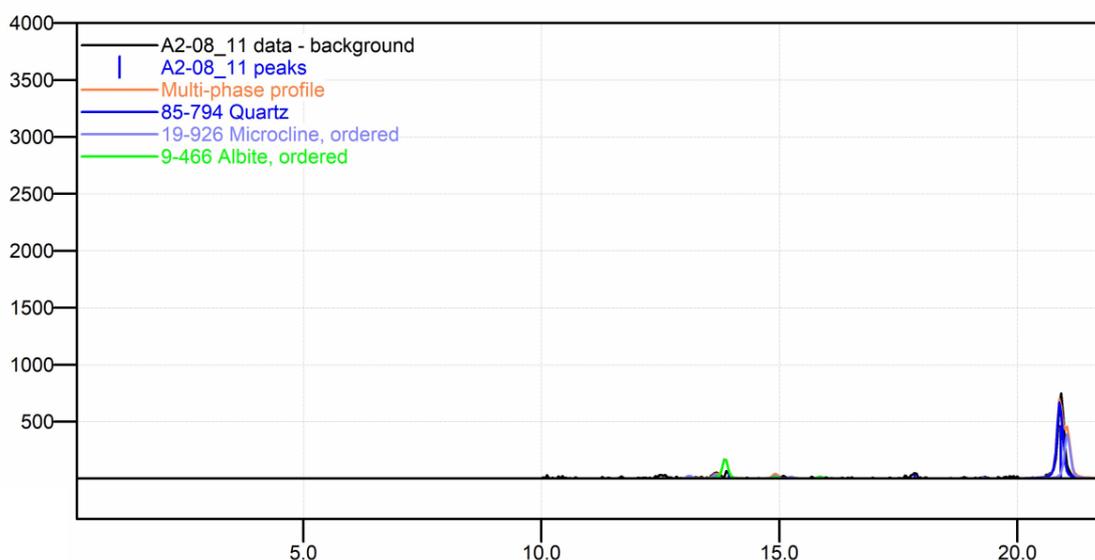
As Figura 16 e 17 apresentam os resultados da análise mineralógica com identificação das fases presentes nas amostras de solo e rejeito, respectivamente.

Figura 16 - Difratoograma da amostra de solo



Fonte: NUPPRAR (2019).

**Figura 17 - Difratoograma da amostra de rejeito**



Fonte: NUPPRAR (2019).

A realização das análises mineralógicas dos materiais coletados na região do Seridó ocorreu através do método de ensaio DR-X. No ensaio é possível identificar as fases cristalinas presentes nas amostras, mostrando os principais minerais.

As singularidades existentes nos difratogramas das Figura 16 e 17 evidencia a presença de um mineral primário: o quartzo. As semelhanças nos dois materiais são explicadas pela região e geomorfologia da localidade onde foram coletados. O quartzo, mineral predominante em ambos os ensaios de DR-X, indica a presença de material arenoso nas amostras AM01 e AM02. Ainda para a amostra do solo (AM01), foi verificada a presença de uma argila expansiva designada pela montmorilonita.

#### **4.2. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA**

Os ensaios de caracterização física das amostras (AM01, AM02, AM03, AM04 e AM05) abrangem neste estudo: análise granulométrica, massa específica e limites de consistência. Foram analisadas todas as amostras e obtidos os resultados conforme especificados nos itens 4.2.1, 4.2.2 e 4.2.3.

#### 4.2.1. MASSA ESPECÍFICA DOS GRÃOS: SOLO E REJEITO

O ensaio de massa específica foi executado de acordo com os preceitos da norma da ABNT NBR 6458:2016. Os resultados obtidos para as amostras analisadas no ensaio de massa específica dos grãos foram disponibilizados na Tabela 6. Tanto o solo (AM01) como o rejeito (AM02) obtiveram valores aproximados com relação a massa específica. Estes valores tornam-se esperados uma vez que as composições químicas destes materiais apresentam semelhanças quanto ao peso dos óxidos de sílica ( $\text{SiO}_2$  – quartzo) cuja massa específica equivale a  $2,60 \text{ g/cm}^3$ .

Para os resultados das demais amostras (AM03, AM04 e AM05), verificou-se que não houve variações superiores a  $\pm 0,01$ , sendo estes resultados mais aproximados da massa específica do rejeito de granito (AM02). Portanto, os valores abaixo são compatíveis com resultados obtidos no trabalho de Batalione (2007) que avaliou a inserção de rejeito de granito a solos tropicais da região Centro-Oeste do país, onde seu valor médio de massa específica para suas amostras foi de  $2,71 \text{ g/cm}^3$ .

**Tabela 6 - Massa específica das amostras ensaiadas**

| <b>AMOSTRA</b> | <b>MASSA ESPECÍFICA (<math>\text{g/cm}^3</math>)</b> |
|----------------|--|
| AM01           | 2,62   |
| AM02           | 2,67   |
| AM03           | 2,66   |
| AM04           | 2,66   |
| AM05           | 2,67   |

Fonte: Elaborada pela autora (2019).

#### 4.2.2. ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

A NBR 7181:2016 delineou os procedimentos desenvolvidos durante a realização deste ensaio para obtenção dos resultados, de acordo com os valores especificados na Tabela 7.

**Tabela 7 - Composição granulométrica em porcentagem (%) de fração e índices CNU e CC**

|                       | <b>AMOSTRAS EM (%)</b>         |             |             |             |             |
|-----------------------|--------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| <b>FRAÇÃO DE SOLO</b> | <b>AM01</b>                    | <b>AM02</b> | <b>AM03</b> | <b>AM04</b> | <b>AM05</b> |
| <b>PEDREGULHO</b>     | 3,93                           | -           | 2,43        | 2,35        | 2,48        |
| <b>AREIA GROSSA</b>   | 5,51                           | 25,79       | 8,77        | 10,98       | 13,01       |
| <b>AREIA MÉDIA</b>    | 34,50                          | 28,48       | 35,28       | 35,97       | 35,21       |
| <b>AREIA FINA</b>     | 32,77                          | 28,71       | 31,06       | 28,58       | 29,09       |
| <b>SILTE</b>          | 6,16                           | 14,34       | 7,38        | 8,43        | 8,24        |
| <b>ARGILA</b>         | 17,13                          | 2,68        | 15,07       | 13,68       | 11,97       |
|                       | <b>ÍNDICES GRANULOMÉTRICOS</b> |             |             |             |             |
| <b>CNU</b>            | -                              | 10,23       | -           | -           | -           |
| <b>CC</b>             | -                              | 1,49        | -           | -           | -           |

**Fonte: Elaborada pela autora (2019).**

Os valores em porcentagens das frações de solos para cada amostra ensaiada denotam o comportamento do solo (AM01), rejeito (AM02) e das novas misturas (AM03 à AM05). O solo (AM01) apresentou a maior fração em porcentagem de argila, seguida de suas misturas. Em proporção inversa, a porcentagem de argila na amostra decai conforme aumenta-se a proporção de rejeito adicionada na mistura. Em termos numéricos, ocorre uma variação de 5,16% da amostra com 30% de rejeito (AM05) para a amostra de solo puro (AM01).

Com relação as demais frações de solos da amostra AM01, nota-se a presença aproximada de 4% de pedregulhos e demais porcentagens de interesse caracterizam este solo como uma areia argilosa.

Para o ensaio com a amostra de rejeito de granito (AM02), as porcentagens das frações de solos não apresentaram valores para os pedregulhos e seus índices de argila estão abaixo de 3%. O valor obtido relacionando a fração argila na amostra AM02 evidencia a falta de coesão entre as partículas do rejeito.

As demais frações (areia e silte) presentes na amostra caracterizam este material como uma areia siltosa.

As misturas com substituição parcial de solo pelo rejeito de granito em 10% (AM03), 20% (AM04) e 30% (AM05) apresentaram-se com valores em porcentagem aproximadas, dependendo da faixa de solo analisada. Além disto, algumas correlações esperadas aconteceram ao se incrementar o rejeito de granito ao solo.

Ao substituir o solo pelo rejeito de granito, uma parte da massa deste material foi retirada, resultando na diminuição da fração argila. Com relação as demais frações (pedregulho, areia e silte), houve algumas descontinuidades para as porcentagens analisadas:

- a) Pedregulho: esperava-se um valor intermediário na amostra AM04, variando entre 2,43% a 2,48%;
- b) Areia média: a amostra AM04 deveria ter assumido um valor intermediário entre 35,28% a 35,21%, pois a porcentagem equivalente ao solo apresenta um índice maior na AM01 comparando-se com AM02;
- c) Areia fina: esperava-se um valor intermediário na amostra AM04, variando entre 31,06% a 29,09%;
- d) Silte: o valor em porcentagem na amostra AM05 deveria ter sido superior a 8,43% e não menor, como ocorreu.

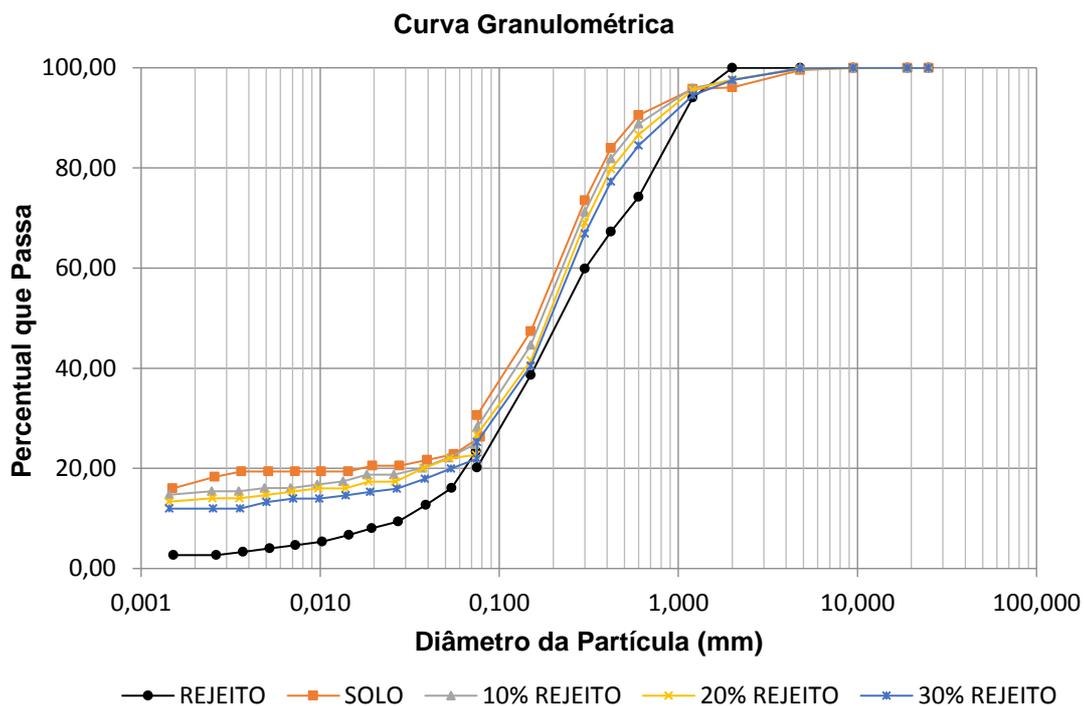
As inconsistências encontradas nos valores resultantes dos ensaios de granulometria das amostras AM03 a AM05 pode ter sido em decorrência da etapa de preparação para os ensaios, como a realização do quarteamento, por exemplo.

Com relação aos coeficientes de curvatura (CC) e não-uniformidade (CNU), a Tabela 7 mostra que estes índices estão presentes apenas para o rejeito de granito. Isto ocorre devido a inaplicabilidade do cálculo para os coeficientes CC e CNU das amostras AM01, AM03, AM04 e AM05. De acordo com os gráficos 19 e 21 a 23, o diâmetro efetivo correspondente a porcentagem de 10% nas suas curvas granulométricas não existe.

De acordo com Batalione (2007), considera-se uma areia bem graduada aquela que apresenta CNU maior que 2 e CC entre 1 e 3. Enquanto que o SUCS avalia uma areia como bem graduada quando seu CNU é superior a 6. Diante disto, como o rejeito de granito é classificado como uma areia siltosa, foram avaliados sobre esse critério a amostra AM02. O rejeito apresentou os seguintes valores para os coeficientes de  $CC = 1,49$  e  $CNU = 10,23$ , portanto, este material enquadra-se na classificação exposta.

A Figura 18 sintetiza os gráficos das análises granulométricas de todas as amostras (AM01 a AM05). É possível visualizar um comportamento semântico das amostras solo (AM01), 10% rejeito (AM03), 20% rejeito (AM04) e 30% rejeito (AM05) ao longo da curva, ocorrendo uma dispersão no final, referente a fração de solos na faixa silte e argila.

Figura 18 - Análise granulométrica de AM01 a AM05



Fonte: Elaborada pela autora (2019).

#### 4.2.3. LIMITES DE CONSISTÊNCIA

Os ensaios pertinentes aos limites de consistência atendem as normas da ABNT NBR 6459:2016 e NBR 7180:2016, referentes ao limite de liquidez e limite de plasticidade, respectivamente. Na Tabela 8 estão apresentados os resultados equivalentes aos ensaios.

Tabela 8 - Limites de consistência

| <b>AMOSTRAS</b> | <b>LIMITE DE LIQUIDEZ</b> | <b>LIMITE DE PLASTICIDADE</b> | <b>ÍNDICE DE PLASTICIDADE</b> |
|-----------------|---------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| <b>AM01</b>     | 23,4                      | 13,9                          | 9,5                           |
| <b>AM02</b>     | -                         | -                             | -                             |
| <b>AM03</b>     | 19                        | 19                            | 0                             |
| <b>AM04</b>     | 20                        | 19                            | 1                             |
| <b>AM05</b>     | -                         | -                             | -                             |

Fonte: Elaborada pela autora (2019).

As amostras de rejeito (AM02) e 30% de rejeito (AM05) não apresentaram condições para realização dos ensaios de plasticidade e consistência, por isso, estas duas amostras são classificadas como não plásticas. Tanto a AM02 como a AM05 apresentam altas concentrações de areia, ou seja, o material não é coeso, o que dificulta na realização dos ensaios.

As amostras AM01, AM03 e AM04 apresentaram os valores conforme a Tabela 8. De acordo com os resultados, somente a amostra de solo (AM01) vai apresentar índice de plasticidade próximo a 10, as demais amostras com inserção de 10% rejeito (AM03) e 20% rejeito (AM04) obtiveram índices de plasticidade nulos. Isto se justifica pela redução do teor de argila e pelo aumento dos teores de areia e silte, frações predominantes no rejeito. Batalione (2007) ressalta que embora a maioria das amostras do rejeito apresente uma quantidade apreciável de partículas finas, deve-se considerar que este material é oriundo do processo de beneficiamento da rocha de granito e não é formado pelos processos de alterações como ocorre nos solos naturais.

Diversas literaturas expressam que um solo apresenta a condição plástica de uma argila quando este atende a faixa de especificação de IP como mostrado na Tabela 9. A nomenclatura referente a condição da argila para a amostra AM01 equivale a medianamente plástica.

Tabela 9 - Condição plástica da argila

| CONDIÇÃO DA ARGILA    | IP            |
|-----------------------|---------------|
| NÃO PLÁSTICA          | IP = 0        |
| FRACAMENTE PLÁSTICA   | $1 < IP < 7$  |
| MEDIANAMENTE PLÁSTICA | $7 < IP < 15$ |
| ALTAMENTE PLÁSTICA    | IP > 15       |

Fonte: Elaborada pela autora (2019).

#### 4.3. CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS – SUCS E HRB

As amostras AM01 a AM05 podem ser classificadas de acordo com o designado na Tabela 10. As amostras com presença de solo apresentaram comportamento semelhante quanto aos sistemas de classificação (SUCS e HRB) enquanto que a amostra de rejeito de granito (AM02) difere das demais classificações. As classificações dos solos assemelham-se com a análise prévia das frações dos solos obtidas nos ensaios de granulometria.

Tabela 10 - Classificação das amostras AM01 a AM05

| AMOSTRAS | CLASSIFICAÇÃO SUCS | CLASSIFICAÇÃO HRB |
|----------|--------------------|-------------------|
| AM01     | SC                 | A – 2 – 4         |
| AM02     | SM                 | A – 3             |
| AM03     | SC                 | A – 2 – 4         |
| AM04     | SC                 | A – 2 – 4         |
| AM05     | SC                 | A – 2 – 4         |

NOTA: SC (Areias argilosas) / SM (Areias siltosas)

A – 2 – 4 (Pedregulho ou areias siltosas ou argilosas) / A – 3 (Areia)

Fonte: Elaborada pela autora (2019).

#### 4.4. CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA

Os ensaios de caracterização mecânica abrangem neste estudo: compactação, índice suporte Califórnia (CBR) e expansão. Foram analisadas todas as amostras e obtidos os resultados conforme especificados nos itens 4.4.1, 4.4.2 e 4.4.3.

##### 4.4.1. ENSAIO DE COMPACTAÇÃO

O ensaio de compactação foi realizado nas três energias de proctor (normal, intermediária e modificada) para todas as amostras (AM01 a AM05), obedecendo a norma da ABNT NBR 7182:2016. Nestes ensaios foram determinadas as propriedades de umidade ótima ( $w$ ) e massa específica aparente seca de cada amostra conforme a energia do proctor, além de se obter 5 pontos para formar a curva de compactação. Na Tabela 11 é possível visualizar os resultados obtidos com relação as umidades ótimas e massas específicas aparentes secas de acordo com as curvas de compactação.

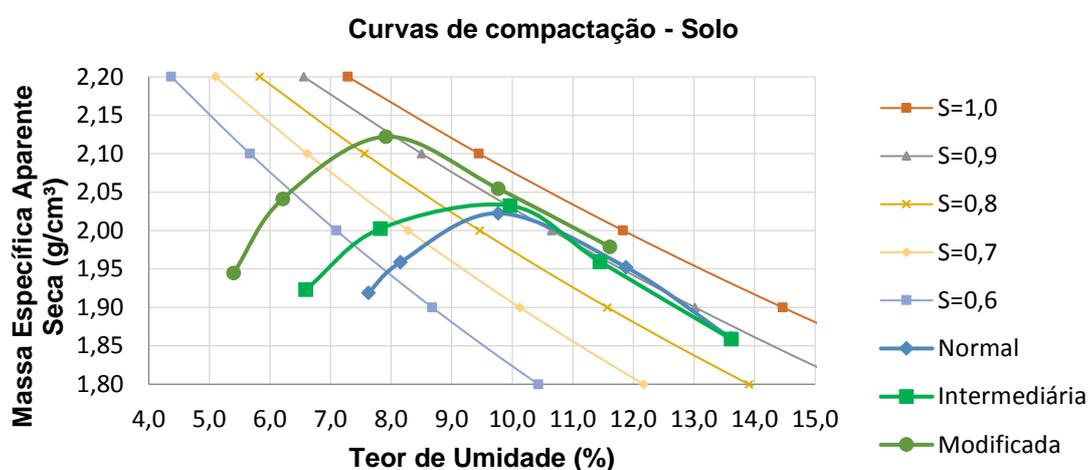
**Tabela 11 - Resultados do ensaio de compactação (umidade ótima e massa específica)**

| AMOSTRAS | ENERGIA DO PROCTOR          |         |                             |         |                             |         |
|----------|-----------------------------|---------|-----------------------------|---------|-----------------------------|---------|
|          | NORMAL                      |         | INTERMEDIÁRIO               |         | MODIFICADO                  |         |
|          | $\rho$ (g/cm <sup>3</sup> ) | $w$ (%) | $\rho$ (g/cm <sup>3</sup> ) | $w$ (%) | $\rho$ (g/cm <sup>3</sup> ) | $w$ (%) |
| AM01     | 2,02                        | 9,71    | 2,03                        | 9,71    | 2,12                        | 7,94    |
| AM02     | 1,88                        | 9,89    | 1,93                        | 10,09   | 2,04                        | 6,47    |
| AM03     | 2,01                        | 10      | 2,04                        | 9       | 2,13                        | 7,53    |
| AM04     | 2,00                        | 10,30   | 1,99                        | 8,90    | 2,11                        | 7,85    |
| AM05     | 2,01                        | 9,80    | 2,03                        | 9,40    | 2,12                        | 7,79    |

Fonte: Elaborada pela autora (2019).

De acordo com as Figura 19 a 23, constata-se que a adição de água a um solo almejando sua condição saturada facilita a sua compactação, ou seja, a medida que adiciona água a amostra, a massa específica do material compactado aumenta. Este comportamento é generalizado para todos os ensaios. Com relação as energias de compactação, a energia modificada apresenta os maiores valores de massa específica, seguida da intermediária e normal, respectivamente.

**Figura 19 - Ensaio de compactação para a amostra de solo (AM01)**



**Figura 20 - Ensaio de compactação para a amostra de rejeito (AM02)**

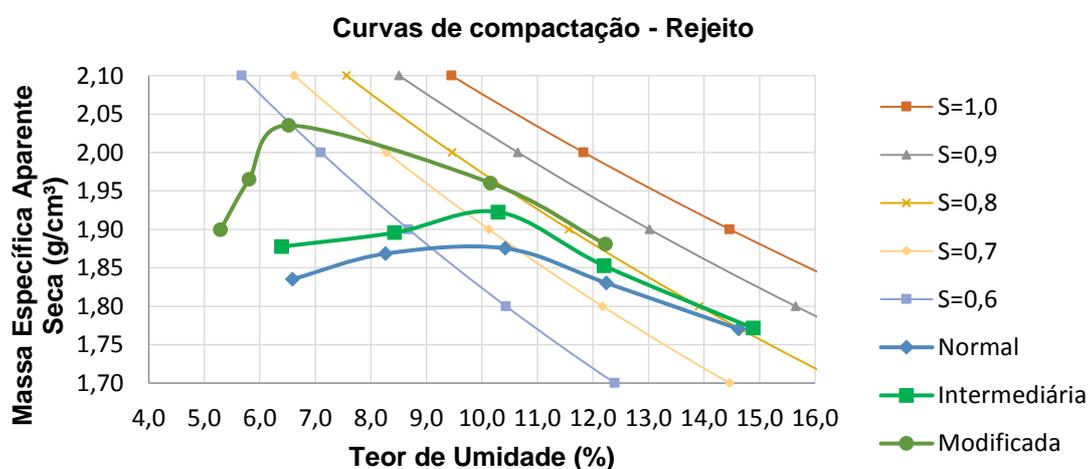
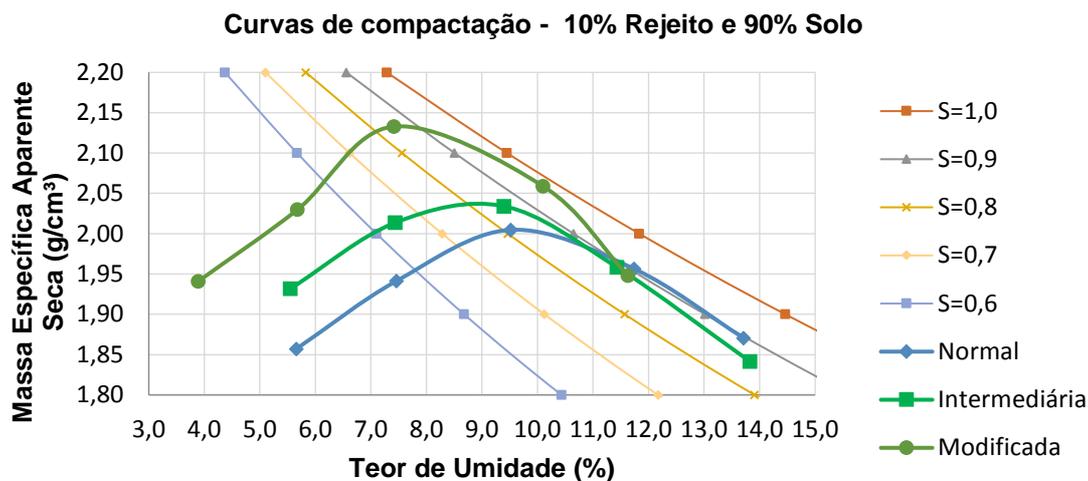
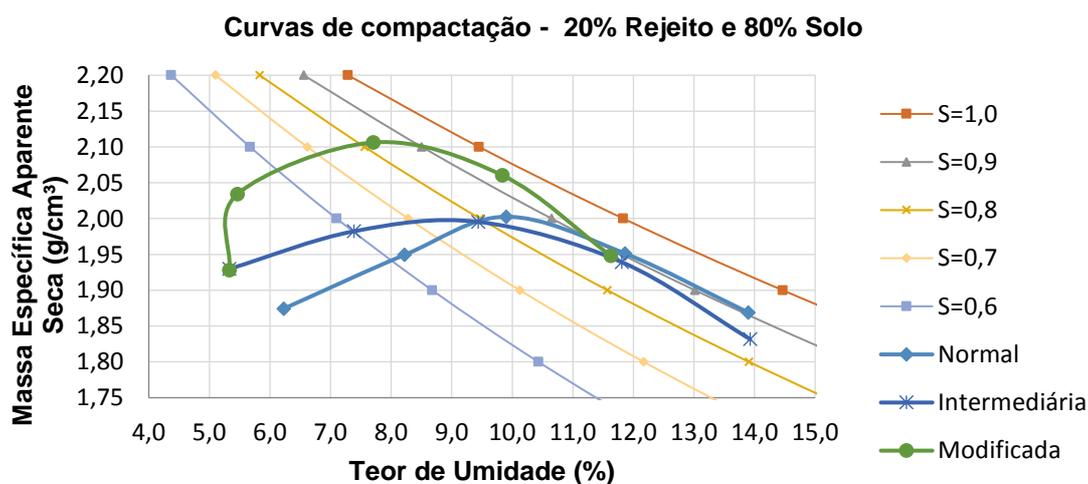


Figura 21 - Ensaio de compactação para a amostra de 10% rejeito (AM03)



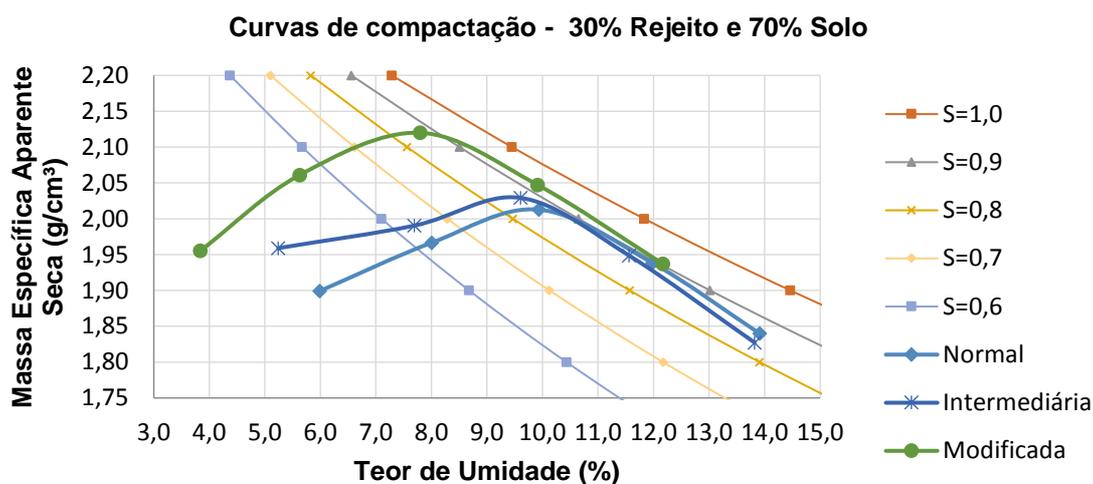
Fonte: Elaborada pela autora (2019).

Figura 22 - Ensaio de compactação para a amostra de 20% rejeito (AM04)



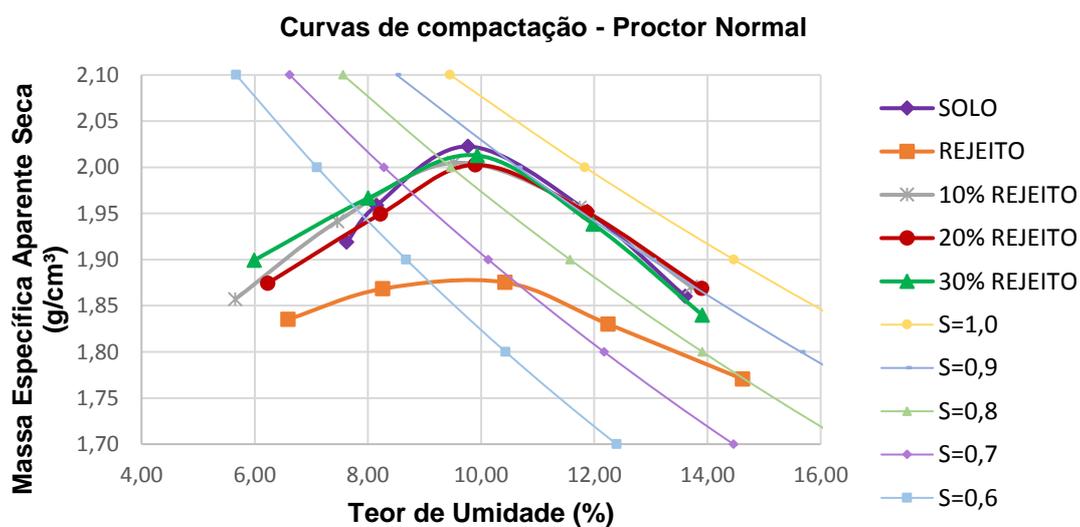
Fonte: Elaborada pela autora (2019).

Figura 23 - Ensaio de compactação para a amostra de 30% rejeito (AM05)



Fonte: Elaborada pela autora (2019).

Figura 24 - Ensaio de compactação - Proctor Normal



Fonte: Elaborada pela autora (2019).

Figura 25 - Ensaio de compactação - Proctor Intermediário

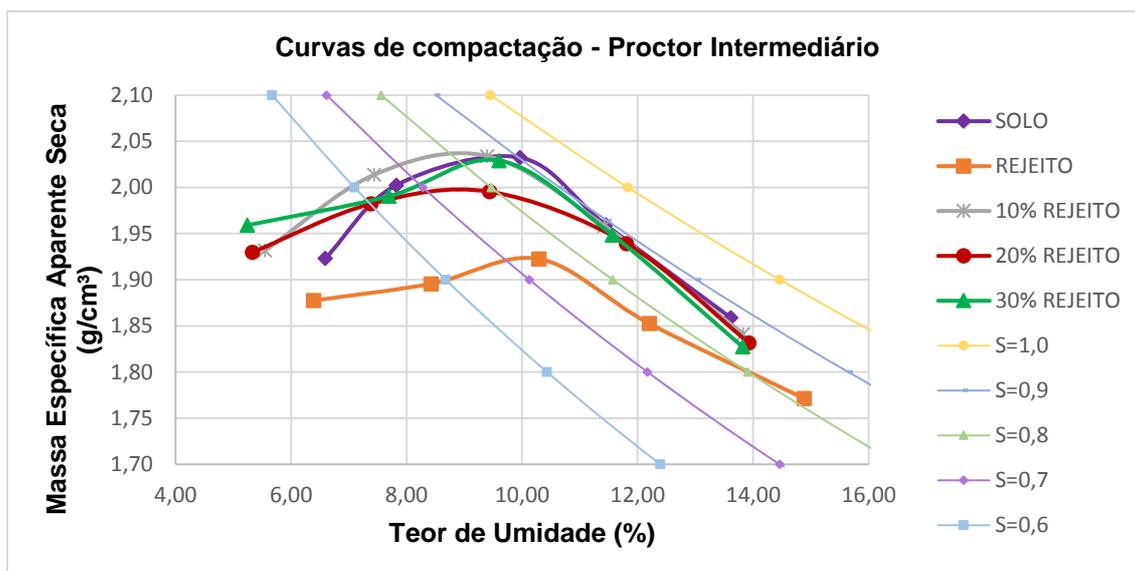
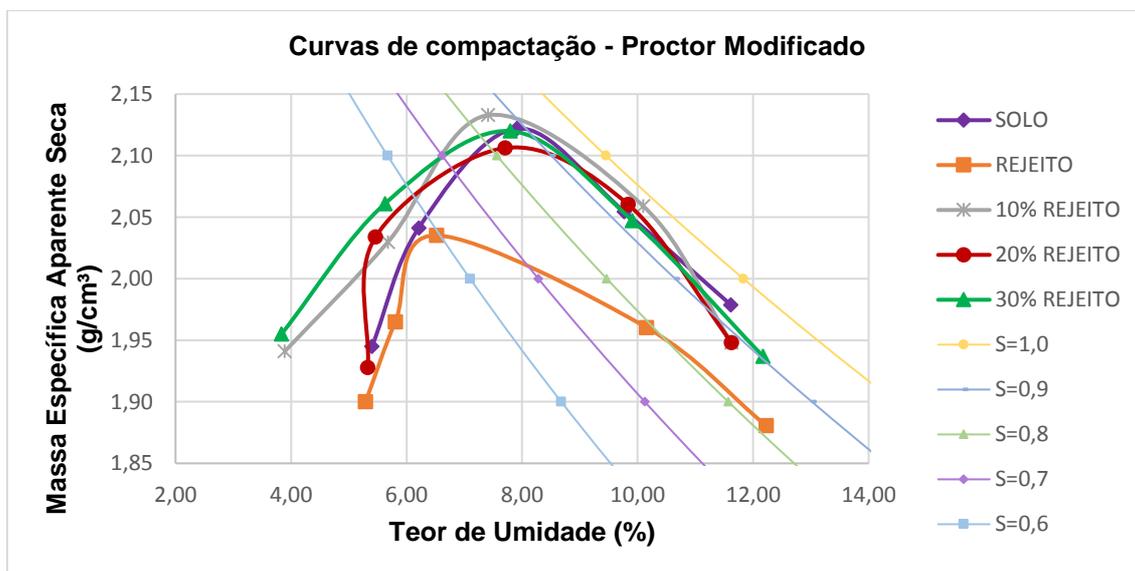


Figura 26 - Ensaio de compactação - Proctor Modificado



A condição relacionada ao aumento da massa específica não ocorre ao longo de toda a curva dos ensaios de compactação. O segundo trecho da curva, após o ponto de deflexão nos gráficos, mostra um decaimento da massa relacionada ao acréscimo de água para compactar o material. O acréscimo de

água tem um efeito benéfico em todos os gráficos até que estes alcançam um certo teor de umidade, conhecida como umidade ótima ( $w$ ).

Para os valores de massa específica correlacionados a umidade ótima, de acordo com as Figura 24 a 26, tem-se:

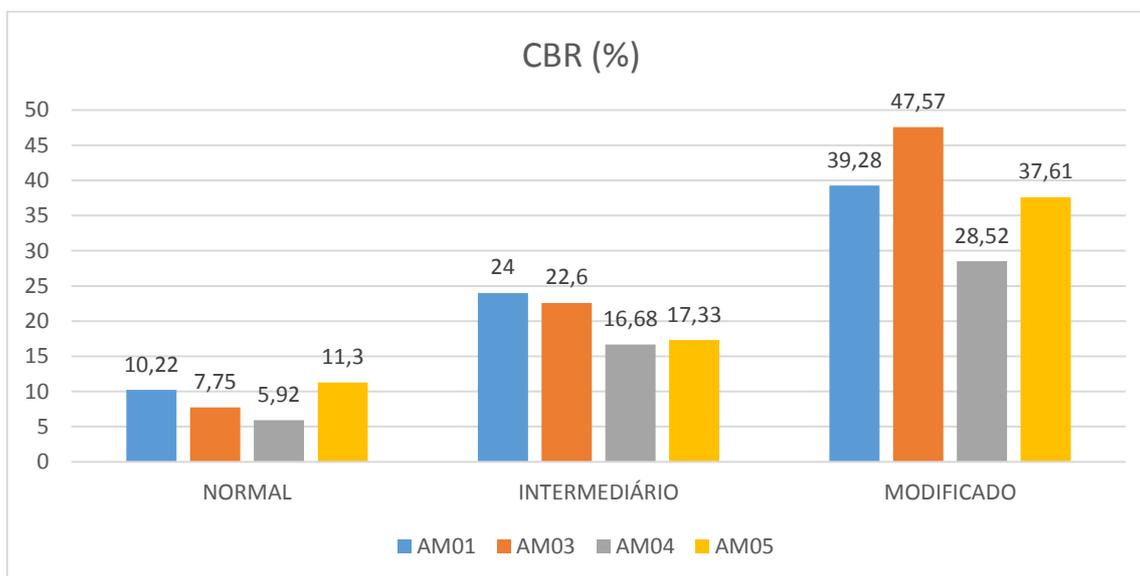
- a) Proctor normal: o solo (AM01) apresentou a maior massa específica, sendo  $2,02 \text{ g/cm}^3$  o resultado. Em contrapartida, a sua umidade ótima foi a menor entre as demais amostras.
- b) Proctor intermediário: A amostra com 10% rejeito (AM03) apresentou a maior massa específica, sendo  $2,04 \text{ g/cm}^3$  o resultado. Em contrapartida, a sua umidade ótima apresentou-se como um dos menores valores.
- c) Proctor modificado: A amostra com 10% rejeito (AM03) apresentou a maior massa específica, sendo  $2,13 \text{ g/cm}^3$  o resultado. Em contrapartida, a sua umidade ótima apresentou-se como um dos menores valores. A variação para a menor umidade ótima, comparando com o valor da amostra AM02 foi de  $\pm 1,06\%$ .
- d) A Tabela 11 mostra uma tendência relacionada as amostras AM01 a AM05: A medida que a energia de compactação aumenta o número de golpes na realização dos ensaios, a massa específica também aumenta, porém, a umidade ótima decresce.

#### **4.4.2. ENSAIO DE ÍNDICE SUPORTE CALIFÓRNIA (ISC)**

O ensaio de Índice Suporte Califórnia foi executado conforme a norma técnica da ABNT NBR 9895:2016 cuja aplicação atendeu as três energias de proctor (normal, intermediária e modificada) para as amostras de solo (AM01), 10% rejeito (AM03), 20% rejeito (AM04) e 30% rejeito (AM05). A amostra do rejeito (AM02) não foi avaliada neste procedimento porque o objetivo da pesquisa é apenas verificar a situação do solo em comparação com as demais proporções entre solo + rejeito. Portanto, não é de interesse a aplicabilidade em 100% de rejeito nas camadas de pavimentação (subleito, sub-base e base).

Os resultados para os ensaios de CBR apresentaram-se com variação de porcentagens conforme com a energia aplicada, como mostra a Figura 27.

**Figura 27 – Resultados dos ensaios de CBR**



**Fonte: Elaborada pela autora (2019).**

O DNIT preconiza os valores mínimos aceitáveis para aplicação de um solo nas camadas de pavimentação. Linhares & Silva (2014) especificaram, de acordo com os valores na Tabela 12, os valores mínimos de CBR conforme o tipo de camada e tráfego:

**Tabela 12 - Valores mínimos de CBR**

| TIPO DE TRÁFEGO | CAMADAS DE PAVIMENTAÇÃO |          |          |
|-----------------|-------------------------|----------|----------|
|                 | BASE                    | SUB-BASE | SUBLEITO |
| LEVE            | 40%                     | 20%      | 2%       |
| MÉDIO           | 60%                     | 20%      | 2%       |
| PESADO          | 80%                     | 20%      | 2%       |

**Fonte: Linhares & Silva (2014).**

Comparando os resultados obtidos na Figura 27 com os valores mínimos de CBR da Tabela 12, tem-se que:

- a) Camada de subleito: O CBR mínimo exigido para esta camada equivale a 2%, como o menor valor de CBR visualizado nos ensaios equivale a 5,92% no proctor normal para a amostra 20% rejeito (AM04), então, todas as amostras nas demais energias de proctor podem ser encaminhadas a esta camada.
- b) Camada de sub-base: O CBR mínimo exigido para esta camada equivale a 20%, de acordo com os resultados de laboratório, deve ser desconsiderada a energia normal para realizar a compactação nesta camada, além disto, as amostras com 20% rejeito (AM04) e 30% rejeito (AM05) não atenderão o uso em camadas de sub-base.
- c) Camada de base: O CBR mínimo exigido para esta camada varia de acordo com o tráfego que este deve ser empregado. Portanto, para o tipo leve (CBR 40%), apenas a amostra 10% rejeito (AM03) no proctor modificado atenderia ao valor mínimo para suporte desta camada. Os demais tráfegos (médio e pesado) não tiveram parâmetros que atendessem aos mesmos.
- d) É necessário ressaltar que além das análises anteriores, faz-se necessário realizar as considerações pertinentes a expansão máxima que estes materiais devem apresentar numa situação de saturação. Assim, os resultados equivalentes as expansões foram disponibilizadas no item 4.4.3.

#### **4.4.3. EXPANSÃO (CBR)**

A realização do ensaio de CBR também possibilita saber qual a expansão de um solo sob um pavimento nas condições saturadas. A expansão é obtida ao se obter as leituras de expansão do solo no período de 4 dias.

De acordo com as normas do DNER – ES 300/97, DNER – ES 301/97 e DNER 303/97, respectivamente, reforço do subleito, sub-base e base, os valores

para expansão máxima são determinados de acordo os dados compilados na Tabela 13.

**Tabela 13 - Valores de expansão máxima para camadas de pavimentação**

| <b>CAMADA DE PAVIMENTAÇÃO</b> | <b>EXPANSÃO MÁXIMA</b> |
|-------------------------------|------------------------|
| <b>SUBLEITO</b>               | < 1%                   |
| <b>SUB-BASE</b>               | < 1%*                  |
| <b>BASE</b>                   | < 0,5%                 |

**NOTA\*:** Para os solos lateríticos, a expansão máxima deve ser inferior a 0,5%.

**Fonte:** Elaborada pela autora (2019).

Os resultados para a expansão obtidos nos ensaios em laboratório conforme as energias aplicadas na Tabela 14.

**Tabela 14 - Resultados de expansão (CBR)**

| <b>AMOSTRAS</b> | <b>CAMADAS DE PAVIMENTAÇÃO (%)</b> |                      |                   |
|-----------------|------------------------------------|----------------------|-------------------|
|                 | <b>NORMAL</b>                      | <b>INTERMEDIÁRIO</b> | <b>MODIFICADO</b> |
| <b>AM01</b>     | 0,9                                | 0,5                  | 0,3               |
| <b>AM03</b>     | 0,9                                | 0,4                  | 0,3               |
| <b>AM04</b>     | 1,1                                | 0,7                  | 0,6               |
| <b>AM05</b>     | 1,3                                | 0,9                  | 0,8               |

**Fonte:** Elaborada pela autora (2019).

Os valores de expansão máximas, relatados nas normas do DNER de acordo com a Tabela 13, são atendidos nos seguintes casos:

- a) Camada de subleito: os resultados obtidos em laboratórios que não atendem a DNER – ES 300/97 equivalem as amostras 20% rejeito (AM04) e 30% rejeito (AM05) no proctor normal.
- b) Camada de sub-base: os resultados obtidos em laboratórios que não atendem a DNER – ES 301/97 equivalem as amostras 20% rejeito (AM04) e 30% rejeito (AM05) no proctor normal.
- c) Camada de base: os resultados obtidos em laboratórios que atendem a DNER – ES 303/97 equivalem as amostras 10% rejeito (AM03) no proctor intermediário assim como para as amostras solo (AM01) e 10% rejeito (AM03) no proctor modificado.

## CAPÍTULO 5

# ANÁLISE ORÇAMENTÁRIA

A realização dos ensaios no CAPÍTULO 4 mostraram a viabilidade da amostra de 10% rejeito (AM03) para uso em camadas de subleito, sub-base e base. Ao propor a substituição parcial de solo natural em camadas de pavimentação pelo rejeito de granito, objetiva-se além da destinação assertiva deste material, reduzindo seus passivos ambientais, ganhos relacionados a redução de custos em obras públicas.

Para sistematizar uma análise relacionada aos custos financeiros ao empregar a mistura solo + rejeito (AM03) nas camadas de pavimentação de um trecho de estrada, foi utilizado um orçamento de caráter público da própria instituição da UFRN, elaborado pela equipe da Superintendência da Infraestrutura, para comparar os custos globais desta obra com um valor simulado ao propor a substituição de 10% do solo utilizado para a camada de base e subleito pelos 10% de rejeito de granito, a custo zero, misturado a 90% do solo.

O valor estipulado como sendo zero para o rejeito de granito, baseia-se no fato que este material não apresenta nenhum valor econômico para a empresa do Britador Seridó Ltda.

O orçamento base deste estudo foi elaborado para licitar um trecho de uma estrada na Escola Agrícola de Jundiá – UFRN, no município de Macaíba/RN. Portanto, numa situação de execução real com o resíduo de mineração, espera-se que a contribuição do rejeito de granito possa ser vinculada a um local mais próximo de execução da obra rodoviária, minimizando assim os custos relacionados ao transporte para o empréstimo deste material.

Os custos relacionados a pavimentação, através de uma análise estatística realizada por Pedrozo (2001), podem atingir até 47% do total de uma obra. Deste percentual, ressalta-se o impacto com custos para execução das

camadas de pavimentação assim como para a produção da camada de rolamento com materiais betuminosos (asfalto) ou de concreto.

O orçamento utilizado para a análise financeira, especificamente, custou a UFRN R\$ 1.600.234,12. Deste total, R\$ 530.800,25 foram relativos aos gastos com pavimentação. O valor em percentual dos gastos para pavimentação, neste orçamento, equivale a 33,17%.

Analisando as atividades discriminadas no item de pavimentação, tem-se três custos relacionados aos serviços nas camadas para pavimento, sendo eles: regularização da camada de subleito, base com solo estabilizado granulometricamente sem mistura e transporte do empréstimo, custos avaliados em R\$ 22.091,41; R\$ 61.289,31 e R\$ 53.551,11 respectivamente. A Tabela 15 retrata os valores relacionados ao orçamento assim como a nova previsão após a aplicação do rejeito de granito na proporção de 10%.

Após analisar os dados fornecidos na Tabela 15, conclui-se que para 10% rejeito de granito, a redução de custos relacionados ao item de pavimentação equivale a 1,58%, enquanto que para análise de redução global do orçamento, o impacto percentual é de apenas 0,52%, sendo o novo valor global para esta obra igual a R\$ 1.591.896,05.

De modo geral, a substituição de 10% de solo pelo rejeito de granito não foi tão vantajosa em termos financeiro, uma vez que o impacto não chegou a 1% do valor total da obra. Seria de interesse público se a porcentagem substituída atendesse a um valor maior que 10%, porém, como os ensaios desta pesquisa inviabilizaram os índices de 30% rejeito para as camadas de base e sub-base, torna-se inviável realizar considerações para este caso.

O orçamento encontra-se disponibilizado para apreciação dos dados no ANEXO dessa dissertação.

Tabela 15 - Análise da redução de custos com a inserção de 10% do rejeito de granito

| <b>ATIVIDADE/SERVIÇO DE CAMADAS DE PAVIMENTAÇÃO</b>                 | <b>VALOR TOTAL (R\$)</b> | <b>REDUÇÃO EM 10% DE SOLO PARA SUBSTITUIÇÃO PELO REJEITO (R\$)</b> | <b>VALOR TOTAL APÓS UTILIZAÇÃO DE 10% REJEITO E 90% SOLO (R\$)</b> |
|---|--------------------------|--|--|
| <b>Regularização do subleito</b>                                    | 22.091,41                | 2.209,14   | 19.882,27  |
| <b>Base com solo estabilizado granulometricamente sem mistura</b>   | 61.289,31                | 6.128,93   | 55.160,38  |
| <b>Transporte de empréstimo</b>                                     | 53.551,11                | -  | 53.551,11*   |
| <b>PERCENTUAL SOBRE O VALOR TOTAL DOS ITENS DE PAVIMENTAÇÃO (%)</b> | 25,80                    | -  | 24,22  |

**NOTA\*:** Os valores relacionados a transporte não sofrem redução de custos uma vez que este serviço é destinado para transporte do empréstimo, seja ele solo ou rejeito.

**Fonte:** Elaborada pela autora (2019).

## CAPÍTULO 6

# CONCLUSÕES

A apresentação dos ensaios no CAPÍTULO 4 nortearam as discussões dos resultados dos ensaios e, conseqüentemente, as conclusões finais acerca da substituição parcial do solo por porcentagens de 10%, 20% e 30% do rejeito de granito, considerando as propriedades de interesse da mistura final.

Diante do exposto ao longo do presente trabalho, conclui-se que:

- Os ensaios de FRX e DRX apresentaram semelhanças, acusando a presença da sílica (quartzo) e alumínio;
- Os resultados das massas específicas das misturas de solo + rejeito (AM03, AM04 e AM05) apresentaram valores próximos da massa específica do rejeito de granito;
- Apesar do solo principal das amostras AM01 e AM02 ser fração areia, os resultados das granulometrias de ambas evidenciaram a presença de argila e silte, respectivamente;
- Somente a amostra de rejeito (AM02) apresentou condições para obtenção do índice  $D_{10}$  e, conseqüentemente, os valores para CNU e CC, enquadrando este material como areia bem graduada;
- As curvas granulométricas das amostras com 10% de rejeito (AM03), 20% de rejeito (AM04) e 30% de rejeito (AM05) aproximam-se da curva do solo (AM01), visto que nesses casos prevalece maior porcentagem de solo natural na amostra;
- A amostra com 30% de rejeito (AM05), assim como o rejeito (AM02), não apresentaram condições para a realização dos ensaios de limites de consistência. Logo, essas amostras podem ser classificadas como não plásticas, devido a ausência de coesão;

- O índice de plasticidade do solo natural (AM01) permitiu classificar a amostra como medianamente plástica. As demais amostras (AM03 e AM04) apresentaram IP em condição não plástica;
- Em todas as amostras, os maiores índices de umidade ótima e massa específica aparente seca foram obtidos nos ensaios de compactação para energia (Proctor) modificada;
- Nos ensaios de CBR, as amostras AM04 e AM05 revelaram-se inadequadas para as camadas de subleito, por não atenderem aos valores mínimos de condição de tráfego e de expansão, no Proctor normal;
- Por sua vez, as amostras AM01 e AM03 atenderam aos critérios de tráfego e expansão para as camadas de sub-base, no Proctor intermediário. Enquanto que as amostras AM01, AM03, AM04 e AM05 foram aprovadas para o Proctor modificado;
- Para as camadas de base, a amostra AM03 (10% de rejeito) atendeu aos critérios de tráfego e expansão no Proctor modificado, em pavimentos voltados ao tráfego leve (CBR = 40%);
- Logo, a partir das análises dos ensaios de CBR, é possível credenciar a mistura com 10% rejeito (AM03) como a amostra com maior potencial para uso em obras rodoviárias. As demais amostras podem ser utilizadas em condições específicas, quando atendem recomendações de norma;
- Apesar da substituição do solo por 10% de rejeito apresentar redução de custo pouco significativa, defende-se a sua incorporação à mistura final por trazer benefícios ambientais sem onerar o valor global da obra.

## REFERÊNCIAS

- Alb Transportes*. (s.d.). Fonte: <http://www.albtransportes.com.br/obra/transporte-interno-de-material-esteril-prometalica-mineracao-centro-oeste-s-a-americano-do-brasil-go>
- Alves, L. M. (2010). *Plasticidade e consistência dos solos*. Fonte: <https://lucasmximoalves.files.wordpress.com/2010/03/mecsolosi-aula4-plasticidadeeconsistenciadosolo.pdf>
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2013). NBR 15012: Rochas para revestimento. Rio de Janeiro, Brasil.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2016). NBR 6458: Grãos de pedregulho retidos na peneira de 4,8mm, determinação da massa específica aparente e da absorção de água. Rio de Janeiro, Brasil.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2016). NBR 6459: Solo - Ensaio de compactação. Rio de Janeiro, Brasil.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2016). NBR 7180: Solo - Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, Brasil.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2016). NBR 7181: Solo - Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, Brasil.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2016). NBR 7182: Solo - Análise granulométrica. Rio de Janeiro, Brasil.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2016). NBR 9895: Solo - Índice de suporte Califórnia (ISC) - Método de ensaio. Rio de Janeiro, Brasil.
- Batalione, G. (2007). Estabilização de solos tropicais com a utilização de rejeitos finos de pedreira de uma rocha granítica. Brasília, Brasil.
- Bernucci, L. B., Motta, L. G., Ceratti, J. P., & Soares, J. B. (2006). *Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros*. Rio de Janeiro: PETROBRAS: ADEBA.
- BRASIL. (02 de Agosto de 2010). *LEI Nº 12.305, DE 2 DE AGOSTO DE 2010*. Fonte: Política Nacional de Resíduos Sólidos: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm)

- Colturato, L. D., Ferreira, G. B., & Araújo, A. C. (2013). *III ENECS - ENCONTRO NACIONAL SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS*. Fonte: Aproveitamento de rejeitos gerados no beneficiamento de minério de ferro: [http://www.elecs2013.ufpr.br/wp-content/uploads/anais/2003/2003\\_artigo\\_016.pdf](http://www.elecs2013.ufpr.br/wp-content/uploads/anais/2003/2003_artigo_016.pdf)
- Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. (1996). *Manual de Implantação Básica*. Rio de Janeiro.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. (1997). ES 300: Pavimentação - reforço do subleito. Rio de Janeiro, Brasil.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. (1997). ES 301: Pavimentação - sub-base estabilizada granulometricamente. Rio de Janeiro, Brasil.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS E RODAGEM. (1997). ES 303: Pavimentação - base estabilizada granulometricamente. Rio de Janeiro, Brasil.
- Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes. (2006). *Manual de Pavimentação*. Rio de Janeiro, Brasil.
- Departamento Nacional de Produção Mineral. (18 de Outubro de 2001). *DNPM*. Fonte: [http://www.dnpm.gov.br/acesso-a-informacao/legislacao/portarias-do-diretor-geral-do-dnpm/portarias-do-diretor-geral/portaria-no-237-em-18-10-2001-do-diretor-geral-do-dnpm/@@download/file/PORTARIA\\_DIR\\_GERAL\\_DNPM\\_20011018\\_237.pdf](http://www.dnpm.gov.br/acesso-a-informacao/legislacao/portarias-do-diretor-geral-do-dnpm/portarias-do-diretor-geral/portaria-no-237-em-18-10-2001-do-diretor-geral-do-dnpm/@@download/file/PORTARIA_DIR_GERAL_DNPM_20011018_237.pdf)
- Dutra, R. (2014). *Apemi - Associação Paulista de Engenheiros de Minas*. Acesso em 24 de Junho de 2019, disponível em Apemi - Associação Paulista de Engenheiros de Minas: <http://www.apemi.eng.br/mineracao-atividades-e-responsabilidades.pdf>
- Gerab, A. T. (2014). Utilização do resíduo grosso do beneficiamento da scheelita em aplicações em aplicações rodoviárias. Natal, Brasil.
- Gratão, L. S., Pereira, E. L., & Ribeiro, L. M. (2006). Utilização de um rejeito de mineração como alternativa para estabilização de um solo tropical da região Centro-Oeste. Brasil.

- Imprensa do Cerrado.* (s.d.). Fonte: <http://www.imprensadocerrado.com.br/materia/656/crixas-tera-que-eliminar-barragem-de-rejeito-de-mineracao>
- Jácome, I. (Fevereiro de 2019). *G1 RN*. Fonte: *G1 RN*: <https://g1.globo.com/rn/rio-grande-do-norte/noticia/2019/02/04/mineracao-movimenta-r-164-milhoes-em-2018-e-aumenta-mais-de-460-em-uma-decada-no-rn.ghtml>
- Klinsky, L. G., & Fabbri, G. P. (2009). Reaproveitamento da areia de fundição como material de base e sub-base de pavimentos flexíveis. Brasil.
- Lima, A. H., Silva, P. D., & Musse, N. S. (2012). A situação atual do setor mineral no RN e suas perspectivas de futuro. Rio Grande do Norte, Brasil.
- Lima, F. C. (2015). Uso de agregados de rochas calcárias para camadas de pavimentos estabilizadas granulometricamente. João Pessoa, Paraíba, Brasil.
- Linhares, A. S., & Silva, B. A. (2014). Aplicação do rejeito da scheelita em camadas granulares de pavimentos. Brasil.
- Ministério da Educação. (09 de Novembro de 2017). *Ministério da Educação*. Fonte: Ministério da Educação: <http://portal.mec.gov.br/setec/arquivos/pdf/mineraca.pdf>
- Ministério do Meio Ambiente. (Agosto de 2001). *MMA*. Fonte: [http://www.mma.gov.br/estruturas/sqa\\_pnla/\\_arquivos/MANUAL\\_mineracao.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/sqa_pnla/_arquivos/MANUAL_mineracao.pdf)
- Moraes, J. F. (1999). Gemas do estado do Rio Grande do Norte. Recife, Pernambuco, Brasil.
- Nakamura, J. (Dezembro de 2011). *Infraestrutura urbana*. Fonte: Infraestrutura urbana: <http://infraestruturaurbana17.pini.com.br/solucoes-tecnicas/16/pavimentacao-asfaltica-os-tipos-de-revestimentos-o-maquinario-necessario-260588-1.aspx>
- Pedrozo, L. G. (2001). Custos da Infra-Estrutura Rodoviária. Porto Alegre, Brasil.
- Pereira, K. L. (2012). Estabilização de um solo com cimento e cinza de lodo para uso em pavimentos. Natal, Rio Grande do Norte, Brasil.
- Pinto, C. d. (2006). *Curso Básico de Mecânica dos Solos*. Oficina de Textos.
- Sánchez, L. E. (2006). *Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos*.

- SEDEC/ASSECOM. (22 de abril de 2014). *Mineração*. Fonte: Secretaria do Desenvolvimento Econômico: <http://sedec.rn.gov.br/Conteudo.asp?TRAN=ITEM&TARG=15440&ACT=null&PAGE=0&PARM=null&LBL=Minera%C3%A7%C3%A3o>
- Silva, A. M., Viana, J., & Cavalcante, A. B. (Agosto de 2011). *Caderno de Diagnóstico*. Fonte: Resíduos Sólidos da Atividade de Mineração: [http://www.cnrh.gov.br/projetos/pnrs/documentos/cadernos/11\\_CADDIAG\\_Res\\_Sol\\_Minerao.pdf](http://www.cnrh.gov.br/projetos/pnrs/documentos/cadernos/11_CADDIAG_Res_Sol_Minerao.pdf)
- Szeliga, L., & Araújo, Z. M. (2010). *Aplicabilidade de Resíduos e Rejeitos Ambientais para Aproveitamento em Pavimentação*. Fonte: PUC-RIO: [http://www.puc-rio.br/pibic/relatorio\\_resumo2010/relatorios/ctc/civ/CIV-Lucianna%20Szeliga.pdf](http://www.puc-rio.br/pibic/relatorio_resumo2010/relatorios/ctc/civ/CIV-Lucianna%20Szeliga.pdf)

## ANEXO – ORÇAMENTO

| INSTITUTO INTERNACIONAL DE NEUROCIÊNCIAS DE NATAL - IINN-ESL |   |                    |                |        |            |                   |
|--|---|--------------------|----------------|--------|------------|-------------------|
| ORÇAMENTO (LDI 19,60%)                                       |   |                    |                |        |            |                   |
| Preço base DNIT - Sistema de Custos Rodoviários - SICRO2     |   |                    |                |        |            |                   |
| Código   | Atividade / Serviço                                   | Especificação      | Custo Unitário |        | Quantidade | Valor Total       |
|  |   |                    | Unid           | R\$    |            |                   |
|  | <b>Terraplenagem</b>                                  |                    |                |        |            | <b>291.713,23</b> |
| 2 S 01<br>000 00   | Desm. dest. limpeza áreas<br>c/arv. diam. até 0,15 m  | DNER-ES<br>278/97  | m2             | 0,29   | 75.561,25  | 21.912,76         |
| 2 S 01<br>100 01   | Esc. carga transp. mat 1ª cat<br>DMT 50 m             | DNER-ES<br>280/97  | m3             | 1,55   | 1.144,82   | 1.774,47          |
| 2 S 01<br>100 09   | Esc. carga tr. mat 1ª c. DMT<br>50 a 200m c/carreg    | DNER-ES<br>280/97  | m3             | 5,61   | 30.874,45  | 173.205,64        |
| 2 S 01<br>100 10   | Esc. carga tr. mat 1ª c. DMT<br>200 a 400m c/carreg   | DNER-ES<br>280/97  | m3             | 6,16   | 435,10     | 2.680,23          |
| 2 S 01<br>100 11   | Esc. carga tr. mat 1ª c. DMT<br>400 a 600m c/carreg   | DNER-ES<br>280/97  | m3             | 6,70   | 1.697,61   | 11.374,01         |
| 2 S 01<br>100 12   | Esc. carga tr. mat 1ª c. DMT<br>600 a 800m c/carreg   | DNER-ES<br>280/97  | m3             | 6,99   | 1.512,16   | 10.570,00         |
| 2 S 01<br>511 00   | Compactação de aterros a<br>100% proctor normal       | DNER-ES<br>282/97  | m3             | 2,56   | 27.420,36  | 70.196,13         |
|  | <b>Drenagem</b>                                       |                    |                |        |            | <b>329.216,04</b> |
| 2 S 04<br>000 00   | Escavação manual em<br>material de 1a cat             |                    | m3             | 28,59  | 805,29     | 23.023,24         |
| 2 S 04<br>001 00   | Escavação mecânica de vala<br>em mat.1a cat.          |                    | m3             | 4,95   | 427,95     | 2.118,35          |
| 2 S 03<br>940 01   | Reaterro e compactação                                |                    | m3             | 19,00  | 466,67     | 8.866,73          |
| 2 S 04<br>100 51   | Corpo BSTC D=0,60 m<br>AC/BC/PC                       | DNIT-023/06-<br>ES | m              | 259,62 | 22,00      | 5.711,64          |
| 2 S 04<br>100 52   | Corpo BSTC D=0,80 m<br>AC/BC/PC                       | DNIT-023/06-<br>ES | m              | 346,24 | 15,00      | 5.193,60          |
| 2 S 04<br>101 51   | Boca BSTC D=0,60 m normal<br>AC/BC/PC                 | DNIT-023/06-<br>ES | und            | 504,23 | 4,00       | 2.016,92          |
| 2 S 04<br>101 52   | Boca BSTC D=0,80 m normal<br>AC/BC/PC                 | DNIT-023/06-<br>ES | und            | 647,97 | 2,00       | 1.295,94          |
| 2 S 04<br>900 54   | Sarjeta triangular de concreto<br>- STC 04 AC/BC      | DNIT-018/06-<br>ES | m              | 21,21  | 461,36     | 9.785,45          |
| 2 S 04<br>910 55   | Meio-fio de concreto - MFC<br>05 AC/BC                | DNIT-020/06-<br>ES | m              | 19,16  | 8.753,48   | 167.716,68        |
| 2 S 04<br>940 51   | Descida d'água tipo rap.calha<br>concreto-DAR 01AC/BC | DNIT-021/06-<br>ES | m              | 99,47  | 40,90      | 4.068,32          |
| 2 S 04<br>942 51   | Entrada d'água - EDA 01<br>AC/BC                      | DNIT-021/06-<br>ES | und            | 34,30  | 101,00     | 3.464,30          |
| 2 S 04<br>950 61   | Dissipador de energia - DES<br>01 AC/PC               | DNIT-022/06-<br>ES | und            | 197,89 | 101,00     | 19.986,89         |
| 2 S 04<br>961 51   | Boca de lobo dupla grelha<br>concr. BLD 01 AC/BC      | DNIT-030/06-<br>ES | und            | 825,50 | 3,00       | 2.476,50          |
| 2 S 04<br>962 52   | Caixa de ligação e passagem<br>- CLP 02 AC/BC         | DNIT-026/06-<br>ES | und            | 817,31 | 1,00       | 817,31            |

| Código           | Atividade / Serviço  | Especificação     | Custo Unitário |          | Quantidade | Valor Total       |
|------------------|--|-------------------|----------------|----------|------------|-------------------|
|                  |  |                   | Unid           | R\$      |            |                   |
| 1 A 01<br>894 51 | Lastro de brita BC<br>(preenchimento da vala de infiltração)   |                   | m³             | 85,62    | 275,93     | 23.625,13         |
| 1 A 00<br>902 51 | Alvenaria de tijolos AC<br>(sumidouro)   |                   | m²             | 35,37    | 106,80     | 3.777,52          |
| 1 A 01<br>407 51 | Conf.e lanç. de concreto magro em betoneira AC/BC  | DNER-ES<br>330/97 | m3             | 218,23   | 0,35       | 76,38             |
| 1 A 01<br>418 51 | Concr.estr fck=18MPa c.raz uso ger conf/lanç AC/BC   | DNER-ES<br>330/97 | m3             | 267,07   | 15,14      | 4.043,44          |
| 1 A 01<br>580 01 | Fornecimento, preparo e colocação formas aço CA 60   | DNER-ES<br>331/97 | kg             | 8,46     | 106,38     | 899,97            |
| 1 A 01<br>580 02 | Fornecimento, preparo e colocação formas aço CA 50   | DNER-ES<br>331/97 | kg             | 7,84     | 1.354,80   | 10.621,63         |
| 40367*           | Corpo de BSTC, D=0,40m<br>(tubos de passagem)  |                   | m              | 74,17    | 266,00     | 19.729,22         |
| 2 S 09<br>002 91 | Transporte comercial c/ basc.<br>10m3 rod.pav.(Areia, Brita e Tubos)   |                   | tkm            | 0,33     | 26.736,36  | 8.823,00          |
| 2 S 09<br>002 90 | Transporte comerc. c/ carr.<br>rodov. pavim.(Cimento,forma e aço)  |                   | tkm            | 0,34     | 3.170,25   | 1.077,89          |
|                  | <b>Pavimentação</b>  |                   |                |          |            | <b>530.800,25</b> |
| 2 S 02<br>110 00 | Regularização do subleito  | DNER-ES<br>299/97 | m2             | 0,66     | 33.471,83  | 22.091,41         |
| 2 S 02<br>200 01 | Base solo estabilizado granul.<br>s/ mistura   | DNER-ES<br>303/97 | m3             | 10,74    | 5.706,64   | 61.289,31         |
| 2 S 02<br>300 00 | Imprimação   | DNER-ES<br>306/97 | m2             | 0,17     | 25.474,75  | 4.330,71          |
| 2 S 02<br>501 52 | Tratamento superf.duplo<br>c/banho diluído BC  | DNER-ES<br>309/97 | m2             | 3,42     | 24.429,18  | 83.547,80         |
| 2 S 09<br>001 05 | Transporte local em rodov.<br>não pav. (const.) (Base DMT = 10Km)  |                   | km             | 0,51     | 105.002,18 | 53.551,11         |
| M103             | Aquisição de Asfalto Diluído<br>CM 30  |                   | T              | 2.176,12 | 30,57      | 66.523,34         |
| M105             | Aquisição de Emulsão RR-2C   |                   | T              | 1.158,00 | 73,29      | 84.866,97         |
| 1 A 00<br>112 91 | Transporte comercial<br>material betuminoso a frio<br>(DMT=542km)  |                   | km             | 220,00   | 103,86     | 22.848,59         |
| 40369*           | Calçada em placa de concreto, medindo 50 x 50cm, esp.: 5cm, rejuntada com seixos rolados, fixados com argamassa de cimento e areia no traço 1:3) |                   | m2             | 34,50    | 3.818,87   | 131.751,02        |
|                  | <b>Complementares</b>  |                   |                |          |            | <b>98.999,76</b>  |
| 3 S 08<br>402 00 | Caiação  |                   | m2             | 1,18     | 1.574,13   | 1.857,47          |
| 4 S 06<br>100 21 | Pintura faixa - tinta base acrílica p/ 2 anos  | DNER-ES<br>339/97 | m2             | 14,69    | 758,12     | 11.136,78         |
| 4 S 06<br>100 22 | Pintura setas e zebreado - tinta b.acrílica -2 anos  | DNER-ES<br>339/97 | m2             | 16,94    | 176,03     | 2.981,97          |

| Código           | Atividade / Serviço   | Especificação     | Custo Unitário |         | Quantidade | Valor Total         |
|------------------|---|-------------------|----------------|---------|------------|---------------------|
|                  |   |                   | Unid           | R\$     |            |                     |
| 4 S 06<br>200 01 | Forn. e implantação placa sinaliz. semi-refletiva   | DNER-ES<br>340/97 | m2             | 230,28  | 24,20      | 5.572,78            |
| 2 S 06<br>400 52 | Cerca arame farp.c/mourão concr.seção triang.AC/BC  | DNER-ES<br>338/97 | m              | 18,16   | 4.264,91   | 77.450,77           |
|                  | <b>Obras de arte especiais (Passagem de nível)</b>  |                   |                |         |            | <b>241.458,46</b>   |
| 1 O 01           | Projeto executivo para passagem de nível em estrutura de concreto armado, inclusive contenção   |                   | und            | 4988,24 | 1,00       | 4.988,24            |
| 2 O 02           | Execução de estrutura de contenção, em estacas de concreto armado, fck conforme projeto elaborado, inclusive escavação e lançamento   |                   | m3             | 1046,13 | 67,00      | 70.090,71           |
| 3 O 03           | Lajes e vigas em concreto armado para passagem de nível, fck conforme projeto elaborado, inclusive cimbramento, fôrma e lançamento  |                   | m3             | 1423,23 | 102,00     | 145.169,46          |
| 4 O 04           | Alvenaria em tijolos maciços para fechamento da estrutura de contenção  |                   | m2             | 22,95   | 40,00      | 918,00              |
| 5 O 05           | Chapisco vertical com argamassa de cimento e areia grossa no traço 1:3, espessura de 5mm  |                   | m2             | 2,95    | 200,00     | 590,00              |
| 6 O 06           | Reboco em argamassa de cimento, cal hidratada e areia, no traço 1:2:8, com espessura de 25mm  |                   | m2             | 15,97   | 200,00     | 3.194,00            |
| 7 O 07           | Guarda corpo em tubos de aço galvanizado, com altura de 1,10m constituído com tubos verticais de 3" fixos em base de concreto com espaçamento de 1,0m, e duas linhas horizontais de tubos, uma a 50 cm do piso em tubos de 2 1/2" e a outra na parte superior em tubos de 3", soldados, sem conexões aparentes, com pintura à base de epóxi |                   | m              | 253,97  | 65,00      | 16.508,05           |
|                  | <b>Canteiro de obras mobilização e desmobilização</b>   |                   |                |         |            | <b>108.046,37</b>   |
|                  | Instalação e manutenção do canteiro   |                   | %              | 6,00    |            | 74.858,92           |
|                  | Mobilização e desmobilização de   |                   | %              | 2,66    |            | 33.187,45           |
| <b>Total</b>     |   |                   |                |         |            | <b>1.600.234,12</b> |

|   |
|---|
| <b>Valor Global da Obra (VGO)</b>   |
| <b>Valor da Obra a Custos Diretos (VOCD) = (VGO/1,1960)</b>   |
| <b>Valor Limite das despesas com Instalação e Manutenção de Canteiro e Acampamento (VLDA) = (VOCD X 0,06)</b> |
| <b>Valor Limite das Despesas com Mobilização e Desmobilização de Equipamentos (VLDMD) = (VOCD X 0,0266)</b>   |
| <b>Valor Global da Obra (VGO)</b>   |