



**unifaema**

**CENTRO UNIVERSITÁRIO FAEMA – UNIFAEMA**

**DAVI MACIEL SANTOS**

**CARACTERIZAÇÃO DE SOLOS ESTABILIZADOS COM REJEITOS DE  
CASSITERITA E MONAZITA PARA USO EM PAVIMENTAÇÃO RODOVIÁRIA**

**ARIQUEMES - RO  
2023**

**DAVI MACIEL SANTOS**

**CARACTERIZAÇÃO DE SOLOS ESTABILIZADOS COM REJEITOS DE  
CASSITERITA E MONAZITA PARA USO EM PAVIMENTAÇÃO RODOVIÁRIA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Civil do Centro Universitário FAEMA – UNIFAEMA como pré-requisito para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Me. Felipe Cordeiro de Lima

**ARIQUEMES - RO  
2023**

**FICHA CATALOGRÁFICA**  
**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

S237c Santos, Davi Maciel.  
Caracterização de solos estabilizados com rejeitos de cassiterita e monazita para uso em pavimentação rodoviária. / Davi Maciel Santos. Ariquemes, RO: Centro Universitário Faema – UNIFAEMA, 2023.  
55 f.  
Orientador: Prof. Ms. Felipe Cordeiro de Lima.  
Trabalho de Conclusão de Curso – Bacharelado em Engenharia Civil – Centro Universitário Faema – UNIFAEMA, Ariquemes/RO, 2023.

1. Mineração. 2. Asfalto. 3. Rodovia. 4. Construção Civil. I. Título.  
II. Lima, Felipe Cordeiro de.

CDD 620.1

**Bibliotecária Responsável**  
Herta Maria de Açucena do N. Soeiro  
CRB 1114/11

**DAVI MACIEL SANTOS**

**CARACTERIZAÇÃO DE SOLOS ESTABILIZADOS COM REJEITOS DE  
CASSITERITA E MONAZITA PARA USO EM PAVIMENTAÇÃO RODOVIÁRIA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Civil do Centro Universitário FAEMA – UNIFAEMA como pré-requisito para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Me. Felipe Cordeiro de Lima

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Me. Felipe Cordeiro de Lima  
UNIFAEMA

---

Prof. Me. Silênia Priscila Lemes da Silva  
UNIFAEMA

---

Prof. Esp. Philippe Thiago Ferreira Costa  
UNIAFEMA

**ARIQUEMES – RO  
2023**

*Dedico este trabalho aos meus pais, pois sem eles este trabalho e muitos dos meus sonhos não se realizariam. Ao Curso de Engenharia Civil da UNIFAEMA, e às pessoas com quem convivi nesses espaços ao longo desses anos.*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus pela minha vida, e por me ajudar a ultrapassar todos os obstáculos encontrados ao longo do curso.

Aos meus pais Francildo e Ana Cláudia, e minha esposa Tatiane, que me incentivaram nos momentos difíceis e compreenderam a minha ausência enquanto eu me dedicava à realização deste trabalho.

Aos professores pelas correções e ensinamentos que me permitiram apresentar um melhor desempenho no meu processo de formação profissional.

Enfim, a todos aqueles que contribuíram direta ou indiretamente para a realização de mais um sonho.

## RESUMO

A pavimentação rodoviária é essencial para promover uma estrutura adequado e funcional na mobilidade dos veículos em suas vias urbanas e rurais, a fim de possibilitar uma resistência maior frente às intempéries e a ação dos veículos. A presente pesquisa teve como objetivo avaliar quais as possibilidades da viabilidade técnica da estabilização de solos com rejeitos de cassiterita para uso em pavimentação rodoviária. Os procedimentos metodológicos para a realização deste estudo foram fundamentados em uma pesquisa bibliográfica e exploratória em bancos de dados, dentre eles: Scielo, google acadêmico, assim como de livros dos renomados autores da área. Com a abordagem da pesquisa de natureza qualiquantitativa, com pesquisa de campo para análise de solo. Sendo utilizados também para a composição deste trabalho as seguintes etapas: coleta e preparação das amostras; ensaios de caracterização do solo; dosagem experimental e análise de resultados. Com uma coleta inicial de rejeitos de cassiterita no Garimpo Bom Futuro e solo puro do Trecho da Avenida Candeias em Ariquemes – RO. Os ensaios com o material coletado foram feitos no Laboratório do Centro Universitário FAEMA – UNIFAEMA. Os resultados desta pesquisa apontaram que a utilização acima de 10% tanto de rejeitos demonazita quanto do rejeito de cassiterita é viável a sua utilização na pavimentação, já quando utilizado 30% dos rejeitos, somente o de monazita poderá ter viabilidade técnica para a estabilização do solo e a utilização em pavimentação rodoviária.

**Palavras-chave:** Solos; rejeitos; cassiterita; monazita; pavimentação rodoviária.

## ABSTRACT

Road paving is essential to promote an adequate and functional structure for vehicle mobility on urban and rural roads, in order to provide greater resistance to bad weather and vehicle action. The objective of this research was to evaluate the possibilities of the technical feasibility of stabilizing soils with cassiterite waste for use in road paving. The methodological procedures for carrying out this study were based on bibliographical and exploratory research in databases, including: Scielo, Google Scholar, as well as books by renowned authors in the area. With a qualitative and quantitative research approach, with field research for soil analysis. The following steps are also used for the composition of this work: collection and preparation of samples; soil characterization tests; experimental dosage of results. With an initial collection of cassiterite tailings at Garimpo Bom Futuro and pure soil from the Avenida Candeias section in Ariquemes – RO. The tests with the collected material were carried out in the Laboratory of the Centro Universitário FAEMA – UNIFAEMA. The results of this research showed that the use of above 10% of both monazite waste and cassiterite waste is viable for use in paving, whereas when 30% of the waste is used, only monazite waste may have technical feasibility for stabilizing the soil and use in road paving.

**Keywords:** Soils; waste; cassiterite; monazite; road paving.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estrutura do Pavimento flexível .....	17
Figura 2 - Estrutura do Pavimento Rígido .....	17
Figura 3 - Estrutura do Pavimento Semirrígido (semi-flexível) .....	18
Figura 4 - Trecho da Avenida Candeias onde o solo foi retirado para as pesquisas.	23
Figura 5 - 7 peneiras.....	25
Figura 6 - Solo .....	25
Figura 7 - Cassiterita .....	25
Figura 8 - Material cru e úmido .....	26
Figura 9 - Material cassiterita na hora que foi colocado .....	27
Figura 10 - Material de rejeito monazita na hora que foi colocado .....	27
Figura 11 - Material de solo 24 h depois de colocado .....	28
Figura 12 - Ensaio de limite de liquidez .....	29
Figura 13 - Equipamentos ensaio Casagrande.....	29
Figura 14 - Ensaio de limite de plasticidade.....	30
Figura 15 - Ensaio de limite de plasticidade.....	31
Figura 16 - Ensaio de compactação .....	32

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Limite de liquidez areia do solo puro.....	35
Tabela 2 - Limite de plasticidade areia do solo puro .....	36
Tabela 3 - Limite de liquidez areia do solo puro + rejeito cassiterita .....	37
Tabela 4 - Limite de plasticidade areia do solo puro .....	37
Tabela 5 - Limite de liquidez areia do solo puro + rejeito de monazita.....	38
Tabela 6 - Limite de plasticidade areia do solo puro + rejeito de monazita .....	38
Tabela 7 - Ensaio de compactação areia do solo puro .....	39
Tabela 8 - Determinação do teor de umidade.....	39
Tabela 9 - Parâmetros ótimos .....	39
Tabela 10 - Ensaio de compactação areia do solo puro + rejeito cassiterita.....	40
Tabela 11 - Determinação do teor de umidade.....	40
Tabela 12 - Ensaio de compactação areia do solo puro .....	41
Tabela 13 - Determinação do teor de umidade.....	41

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Curva granulométrica dos solos + rejeitos naturais.....	33
Gráfico 2 - Curva granulométrica com adicionais de solos + rejeitos 10%.....	33
Gráfico 3 - Curva granulométrica com adicionais de solos + rejeitos 30%.....	34
Gráfico 4 - Limite de liquidez .....	35
Gráfico 5 - Limite de liquidez .....	37
Gráfico 6 - Limite de liquidez .....	38
Gráfico 7 - Teor de umidade e de massa específica.....	39
Gráfico 8 - Teor de umidade e de massa específica.....	40
Gráfico 9 - Teor de umidade e de massa específica.....	41

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>12</b>
1.1 JUSTIFICATIVA .....	13
1.2 OBJETIVOS .....	14
<b>1.2.1 Geral</b> .....	<b>14</b>
<b>1.2.2 Específicos</b> .....	<b>14</b>
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>15</b>
2.1 PAVIMENTO .....	15
<b>2.1.1 Pavimento flexível</b> .....	<b>16</b>
<b>2.1.2 Pavimento rígido</b> .....	<b>17</b>
<b>2.1.3 Pavimento semirrígido</b> .....	<b>18</b>
<b>2.1.4 Pavimentação</b> .....	<b>18</b>
<b>2.1.5 Solo</b> .....	<b>19</b>
<b>2.1.6 Rejeitos e resíduos</b> .....	<b>20</b>
2.2 ESTABILIZAÇÃO DE SOLO .....	20
<b>3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS</b> .....	<b>22</b>
3.1 PROCEDIMENTOS TÉCNICOS .....	22
<b>3.1.1 Da coleta do solo</b> .....	<b>22</b>
<b>3.1.2 Rejeito de cassiterita</b> .....	<b>23</b>
<b>3.1.3 Água</b> .....	<b>23</b>
3.2 PROCEDIMENTOS LABORATORIAIS .....	23
<b>3.2.1 Da análise dos dados</b> .....	<b>23</b>
<b>3.2.2 Preparação das amostras</b> .....	<b>24</b>
<b>3.2.3 Ensaio de granulometria</b> .....	<b>24</b>
<b>3.2.4 Ensaio de teor de umidade</b> .....	<b>26</b>
<b>3.2.5 Ensaio de massa específica</b> .....	<b>27</b>
<b>3.2.6 Ensaio de limite de liquidez</b> .....	<b>28</b>
<b>3.2.7 Ensaio de limite de plasticidade</b> .....	<b>30</b>
<b>3.2.8 Ensaio de compactação</b> .....	<b>31</b>
<b>4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS</b> .....	<b>33</b>
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>43</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>45</b>
<b>APÊNDICES</b> .....	<b>49</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A presente pesquisa apresenta a temática da estabilização de solos com rejeitos de cassiterita para uso em pavimentação rodoviária. No Brasil, mais especificamente, no Estado de Rondônia o modal de transporte mais utilizado é o rodoviário. Considerando a precariedade de algumas rodovias, torna-se extremamente necessário descobrir novas formas sustentáveis para a pavimentação das rodovias, tanto para a execução dos serviços iniciais quanto para a manutenção. As empresas, de um modo geral, têm sido cobradas pela sociedade a assumirem postura social e ambientalmente responsável, considerando todo o impacto negativo provocado por suas atividades de produção. Diante de todos os aspectos ambientais, sociais e econômicos que geram preocupações atualmente, as instituições devem buscar inovações para utilizar os recursos do meio ambiente.

Diante do crescimento e desenvolvimento econômico das cidades, é preciso pensar em como o meio ambiente é tratado pelo ser humano, diante de tantos desafios que estamos observando. A destruição dos recursos biológicos vem destruindo o habitat natural dos seres vivos, para construções e apropriações dos espaços ocupados por estes, e ainda usando os recursos em termos da biodiversidade causando empobrecimento da natureza (JESUS NETO, 2011).

Percebe-se que desde a Antiguidade os povos já buscavam realizar melhorias no solo a fim de encontrar qualidade. E este processo era feito por intermédio de mistura do solo com outros materiais, surgindo com isto a técnica de estabilização de solos. A estabilização provoca alterações nas propriedades e melhora as características para seu uso na engenharia. (COELHO et al, 2015). Deste modo, questiona-se: quais as possibilidades da viabilidade técnica estabilização de solos com rejeitos de cassiterita para uso em pavimentação rodoviária?

Os rejeitos são partes do material que são descartados e sua reutilização, no caso do objeto de estudo desta pesquisa, seria relevante. Levando em consideração toda a preocupação com a preservação dos recursos naturais, e entendendo que a engenharia civil tem papel marcante e importante frente às políticas de preservação do meio ambiente, torna-se premente e precípua cada vez mais o estudo para aproveitamento e da aplicação de rejeitos ou materiais reciclados na melhoria do solo. (MELIANDE, 2014).

Deste modo, a relevância desta pesquisa é que a comunidade em geral tem um novo olhar para as empresas que atuam positivamente em seu meio. Desta forma, contribuir para o bem-estar da população que faz parte da sociedade na qual a empresa está inserida traz benefícios econômicos à instituição.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

Trata-se de um trabalho relevante para a academia, para as empresas e a sociedade em geral, pois há a necessidade de um estudo que estimule a utilização de técnicas alternativas para a pavimentação de rodovias, possibilitando a ampliação da malha rodoviária.

Nas considerações de Lopes (2011), o aproveitamento de rejeitos/resíduos para a execução e pavimentação de estradas tem sido usado em várias partes do mundo a fim de reduzir o quantitativo destes resíduos e propiciar materiais alternativos.

Esta pesquisa justifica-se pela possibilidade de utilização de rejeitos que já não tem espaço para dar o devido destino, assim como pela grande demanda de material para a construção das estradas quando não existe materiais naturais disponível na mesma medida. Sendo assim, o uso de materiais reciclados traz grande vantagem para empresas que geram tais resíduos, da mesma forma é vantajosa para empresas do campo da construção civil que escolhem alternativas sustentáveis. (BRINGEL, 2018).

Desta forma, ter responsabilidades ambientais faz com que as empresas, de maneira efetiva, assumam o cumprimento das obrigações legais e, acima de tudo, se preocupem com as condições do meio ambiente.

Vale ainda ressaltar, que esta pesquisa é extremamente relevante, pois a pavimentação tem um custo elevado nos seus materiais para a execução. Segundo Oliveira e Araújo (2023) o baixo índice de pavimentação nas estradas tem como ponto fulcral os custos tanto do material quanto do transporte. Levando em consideração que materiais de excelente qualidade poderão ser encontrados em locais distantes, o que causa uma oneração nos custos e provocam impactos ambientais.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Geral

Investigar e caracterizar os solos estabilizados com rejeitos de cassiterita e monazita visando avaliar sua viabilidade para utilização como material granular em pavimentação rodoviária.

### 1.2.2 Específicos

- Realizar uma revisão literária sobre a estabilização de solos aplicadas à pavimentação;
- Realizar a coleta de amostras representativas de solos contendo rejeitos de cassiterita e monazita em áreas específicas;
- Analisar as propriedades físicas dos solos, incluindo granulometria, densidade e teor de umidade, para compreender o comportamento inicial dos materiais.
- Avaliar se os resultados obtidos em caracterização são satisfatórios de acordo com as exigências de um solo para uso na base e sub-base de um pavimento.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 PAVIMENTO

Pavimento, tem sua apresentação na NBR 7207/82, classificado como uma estrutura que possui diversas camadas, sendo construído somente após a terraplanagem, tais camadas são de espessuras finitas, e a sua estruturação deverá resistir ao tráfego de veículos, assim como às intempéries. Melhorando e propiciando melhores condições de rolamento aos usuários (ABNT, 1982).

No entendimento dos autores Bernucci et al. (2006), pavimento é uma estrutura que está composta por um sistema de camadas que se distribuem de forma ascendente sobre o subleito, comportando-se de acordo com a espessura de cada camada e de sua rigidez, assim como da interação entre estas camadas.

Para Sartori (2015, p. 24) um pavimento “é considerado um sistema laminar formado por várias camadas de espessura constante constituídas por diferentes materiais, apoiados numa fundação, composta pelo maciço natural, cuja qualidade pode ser melhorada”.

Nas considerações de Balbo (2007), o pavimento está dividido por camadas, sendo elas: o subleito, que é a camada mais interna; reforço do subleito, é a camada que melhora a capacidade de apoio de carga do subleito contendo uma espessura variável; sub-base que é a camada que tem a mesma função da base, estando sobre o subleito ou o reforço do subleito. Já a base é uma camada que tem por finalidade resistir aos esforços ocasionados pelo tráfego de veículos, que com isso distribui para o subleito, sendo construído o revestimento sobre esta (DNER, 2017).

Deste modo, o último procedimento a ser realizado é o revestimento asfáltico que é considerado uma camada de rolagem. Sendo esta camada a que sofre diretamente as cargas verticais e horizontais provocadas pelo tráfego, repassando às camadas ascendentes, melhorando a superfície de rolamento (BALBO, 2007; CYPHER ENVIRONMENTAL, 2016; SENÇO, 2007).

Conforme as palavras de Otubo (2021, p. 1):

Para a construção de pavimentos é necessário utilizar solos com determinadas qualidades pré-definidas em cada camada e que nem sempre se encontram nas proximidades do traçado em execução. Por isso, é muito comum importar solos de outras localidades. Diante dessa realidade,



alinhada com o alto custo de importação do material, é necessário buscar novas alternativas para a pavimentação das ruas e rodovias

O pavimento tem alguns requisitos mínimos que são primordiais para sua estabilidade, a fim de garantir as exigências quanto ao nível funcional e estrutural. Fernandes (2012), aponta que, no que diz respeito ao nível funcional deverá ter garantida a aderência (pneu/pavimento), com o mínimo de geração de ruído, a drenagem de águas que se encontram na superfície, a resistência do pavimento é considerada por meio do quanto ele suporta de esforços demandantes do tráfego, garantindo a impermeabilidade, protegendo as camadas inferiores. Concernente ao nível estrutural deverá ser observada a capacidade suportada pelo pavimento diante das imposições refletidas pelo tráfego de veículos e dos agentes climáticos (FERNANDES, 2012).

Nesse sentido, Bernucci et al. (2010) ressaltam que projetar um pavimento tem sido um grande desafio, considerando que as demandas estruturais e funcionais deverão ser cumpridas, sendo alinhadas a uma vultosa economia e às restrições orçamentárias. Caso as demandas mencionadas não sejam efetivadas poderão surgir algumas irregularidades no pavimento que serão percebidas pelos usuários.

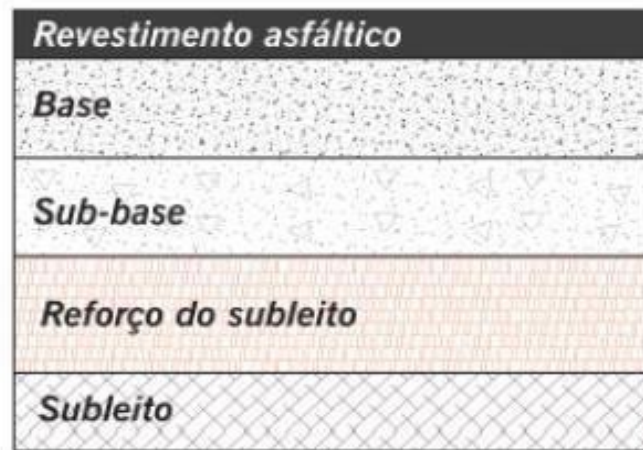
Os pavimentos estão subdivididos em três categorias: os flexíveis, os rígidos e os semirrígidos.

### **2.1.1 Pavimento flexível**

Os pavimentos flexíveis são aqueles em que todas as camadas passam por deformações elásticas significativas, não chegando a ocorrer rompimento. Distribuindo de forma equivalente entre as camadas. Este pavimento é dimensionado para resistir às compressões e tração na flexão, fato este que resulta em aparecimento das deformações sob as rodas dos veículos, ocasionando deformações permanentes (DNIT, 2006; BALBO, 2007; SENÇO, 2007).

Este é o pavimento que resiste à força do cisalhamento (VACCARINI, 2019), o seu desempenho é influenciado pelo número e magnitude das cargas dos veículos que trafegam pelas vias, a frequência da manutenção do pavimento, dentre outros aspectos (GONÇALVES, 1999). Ainda de acordo com Gonçalves (1999) o tráfego gera pulsos de tensões e deformações, normais e cisalhantes no pavimento, visto que essas pulsões são duplas e com reversão de sentido.

Figura 1 - Estrutura do Pavimento flexível



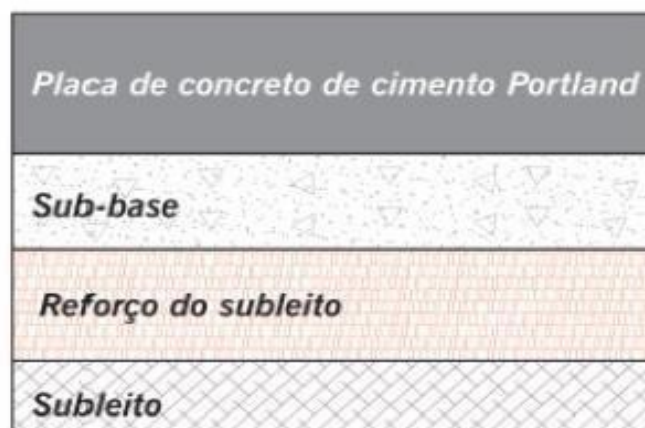
Fonte: Bernucci et al., 2006.

Conforme apresentado na figura 1, é apontado por Sartori (2015) que os pavimentos flexíveis são revestidos por materiais asfálticos ou betuminosos, possuindo bases de material granulares formando um conjunto capaz de suportar a flexão exercida pelo tráfego.

### 2.1.2 Pavimento rígido

O Manual de Pavimentação do DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, ressalta que os pavimentos rígidos possuem uma alta rigidez em comparação às camadas subjacentes, absorvendo as maiores tensões que são provenientes do carregamento. Um dos exemplos de revestimento rígido é o de concreto de cimento Portland (DNIT, 2006).

Figura 2 - Estrutura do Pavimento Rígido



Fonte: Bernucci et al., 2006.

Sartori (2015) reitera que os pavimentos rígidos são constituídos por placas de Concreto de Cimento Portland. Deste modo, contendo esta composição possuem um Módulo de Elasticidade mais alto que os demais, fornecendo uma capacidade mais elevada de distribuição da carga e capacidade estrutural ao pavimento.

### 2.1.3 Pavimento semirrígido

O pavimento semirrígido apresenta como principal característica a presença de uma base de cimento, como o solo cimento, o que faz com que tenha uma boa absorção dos esforços do tráfego (DNIT, 2006).

Figura 3 - Estrutura do Pavimento Semirrígido (semi-flexível)



Fonte: Ecivilnet, 2023.

O pavimento semirrígido, segundo Vaccarini (2019) tem uma característica peculiar que é a capacidade de resistência à tração, visto que tem uma base cimentada, contendo propriedades cimentícias, por exemplo: o solo-cimento e o solo-cal, associado a um revestimento asfáltico.

### 2.1.4 Pavimentação

Pavimentação é uma estrutura destinada a criar uma resistência ao tráfego, propiciando uma superfície mais regular e trazendo conforto à movimentação de veículos, com uma superfície que cause maior aderência, proporcionando mais segurança em casos de pistas molhadas, além de minimizar o desgaste ambiental das vias urbanas e rurais (BALBO, 2007; SENÇO, 2007).

Nas considerações de Sartori (2015) a pavimentação:

Envolve diretamente o uso de solos para diferentes camadas de sua composição. Para melhor aproveitamento econômico e de desenvolvimento da obra, o ideal, seria utilizar o solo já existente no local a ser realizado a obra. Contudo, muitas vezes os solos presentes in loco não atendem as especificações mínimas exigidas para a utilização.

Uma via de circulação ao ser pavimentada tem por finalidade gerar uma superfície regular, e segundo Balbo (2007) isto garante um melhor conforto ao usuário em caso de deslocamento do veículo, uma maior aderência, promovendo mais segurança em situações que deixam a pista úmida e molhada, e com menos ruídos no atrito dos pneus dos veículos, e, conseqüentemente, propicia melhor conforto ambiental tanto em vias urbanas quanto em vias rurais.

### **2.1.5 Solo**

O solo é um material extremamente relevante para a pavimentação, visto que está presente no subleito, é um material natural que tem em sua constituição grãos que podem ser separados de forma mecânica ou hidráulica. Além de estar no subleito de maneira natural, este poderá ser utilizado nas camadas adjacentes, considerando que este é um material solto, que é proveniente do intemperismo e ocorre também por meio da degradação de rochas ou através da decomposição de vegetais (CNT, 2017; NOGAMI; VILLIBOR, 1995).

Para Cruz e Jalali (2010) o solo é um dos componentes mais relevantes para a engenharia civil, que seja no seu estado natural ou como insumo.

Sendo de fundamental importância o estudo do solo para que haja durabilidade na rodovia após a pavimentação, deixando claro que todas as etapas desta construção são extremamente relevantes e essencial para a sua qualidade (DNIT, 2006).

Segundo Vicente (2021, p. 13):

O solo é muito utilizado para fins de pavimentação por conta da facilidade e disponibilidade, principalmente em pavimentos de baixo custo. Mas nem todo tipo de solo está adequado para ser utilizado em pavimentos, sendo necessárias melhorias para atingir as necessidades exigidas. Um método para o tratamento do solo é a estabilização que pode ser mecânica, granulométrica e/ou química.

Por ser um material de fácil acesso, de acordo com a Confederação Nacional do Transporte (CNT, 2017), o solo é primordial e de grande importância para a pavimentação, visto que se encontra no subleito que é a fundação do pavimento e pode ser usado nas demais camadas, considerando que é um material solto oriundo das intempéries e da degradação das rochas.

### **2.1.6 Rejeitos e resíduos**

Nas considerações de Boscov (2008), os resíduos são definidos como qualquer matéria, quer sejam em estado sólido, semissólidos, líquidos e gases. Matéria esta que foi descartada ao longo das atividades realizadas em comércios, indústrias, hospitais, agrícola, ou até mesmo em residências e outras, visto que para eles não existe uma demanda econômica (BOSCOV, 2008).

Já o rejeito é um determinado tipo de resíduo, considerando que se esgotaram as possibilidades de reciclar e reaproveitar, e após estas tentativas foram destinados a um aterro sanitário que tenha licenciamento ambiental ou tais rejeitos serão incinerados. De outra forma podem ser resíduos que passaram por um processo de beneficiamento, tendo por finalidade a obtenção de um interesse econômico (ESPÓSITO, 2000; VGR, 2020).

## **2.2 ESTABILIZAÇÃO DE SOLO**

A estabilização do solo é conceituada por Vizcarra (2010) como uma alteração nas propriedades do solo, propiciando um melhor resultado das condições técnicas. Sendo este um tratamento artificial que traz uma preparação do solo para suportar cargas externas e fenômenos naturais.

Compartilhando do mesmo entendimento, Coelho et al. (2015, p. 12), ressalta que a “estabilização dos solos é um método abundantemente utilizado, pois acarreta na alteração das propriedades e melhoria nas características quanto à aplicação na engenharia. A estabilização pode ser: mecânica; granulométrica e com aditivos”.

A estabilização possibilita que o solo tenha uma capacidade maior de resistir às deformações e rupturas em todo o processo de trabalho, resistindo ao cisalhamento e à deformação. Preservando as propriedades do solo, melhorando a

qualidade do pavimento e otimizando o seu uso (MOUSAVI et al., 2017; SENÇO, 2007).

Para Teixeira (2014) a estabilização do solo ocorre para que se torne estável na sua utilização, com resistência que faça com que alcance a estabilidade e permaneça firme durante o processo de tráfego e suportando bem as ações externas, podendo ser de natureza física, físico-química ou mecânica.

Deste modo, a estabilização mecânica tem por finalidade melhorar as características do solo por intermédio de rearranjo das partículas, propiciando a diminuição do índice de vazios entre os grãos, ou seja, por meio da compactação o que faz com que diminua a porosidade (GONDIM; 2008; SANTOS, 2012).

A estabilização granulométrica consiste em um processo de combinação e manipulação dos solos, de forma proporcional, a fim de obter um produto que alcance uma maior estabilidade que os solos originais. Misturando materiais que resultem em material de resistência garantida (GONDIM, 2008; SOLIZ, 2007).

Já para Santos (2012), a estabilização física ocorre quando há uma adição de material ocasionando alterações nas propriedades do solo, modificando sua textura.

A estabilização química melhora as propriedades físicas e mecânicas do solo, trazendo uma mudança em sua estrutura, com a aplicação de aditivo que provocarão reações químicas, ou seja, material químico orgânico e inorgânico. Possibilitando uma boa compactação, uma boa umidade, ocupando os espaços onde há poros, melhorando as propriedades do solo (GUIMARÃES, 2002; MAKUSA, 2013).

### **3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS**

#### **3.1 PROCEDIMENTOS TÉCNICOS**

Este estudo foi fundamentado em uma pesquisa bibliográfica e exploratória em bancos de dados, dentre eles: Scielo, google acadêmico, assim como de livros dos renomados autores da área. A abordagem da pesquisa será de natureza qualiquantitativa, com pesquisa de campo para análise de solo.

Os procedimentos metodológicos que foram utilizados na composição deste trabalho seguiram as seguintes etapas: coleta e preparação das amostras; ensaios de caracterização do solo; dosagem experimental; produção e ensaios das PCPs e análise de resultados.

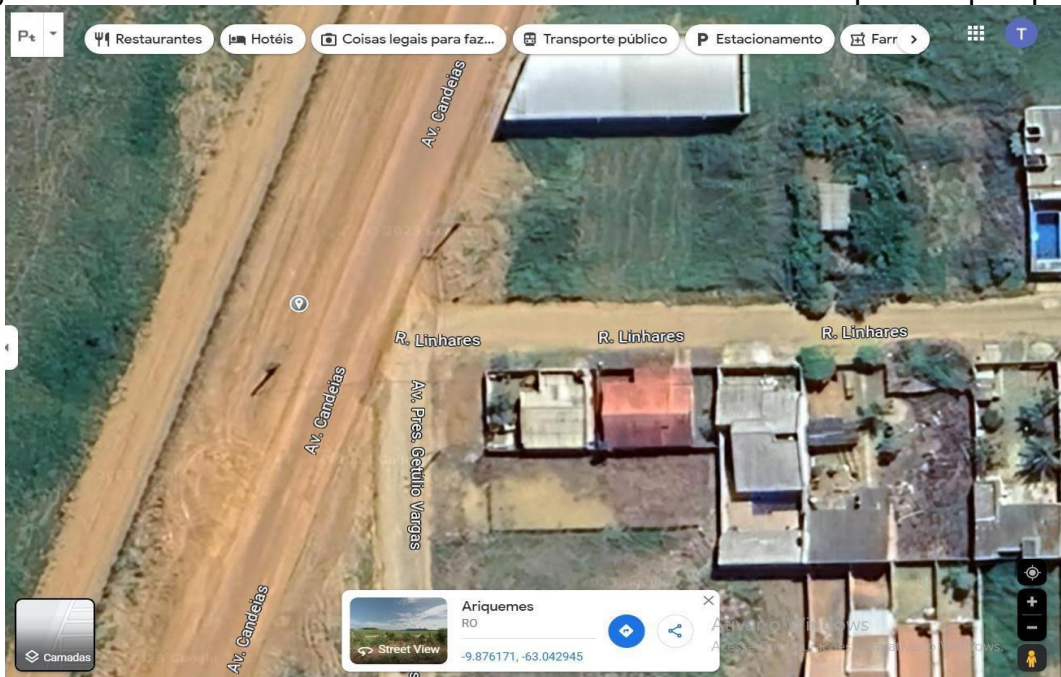
Após os resultados das amostras serem obtidos, foi feita a compilação das informações, utilizando o Software Microsoft Excel para a tabulação e apresentação dos resultados através de gráficos e tabelas, realizando o estabelecimento das relações entre as variáveis e permitindo uma melhor compreensão dos resultados encontrados.

##### **3.1.1 Da coleta do solo**

O solo puro utilizado nesta pesquisa foi retirado do Trecho da Avenida Candeias e os rejeitos foram retirados do Garimpo Bom Futuro que se encontra localizado no Município de Ariquemes, Estado de Rondônia, nas mediações dos municípios de Monte Negro e Alto Paraíso. O Garimpo Bom Futuro tem sido considerado como uma das mais relevantes minerações ricas em cassiterita que está em plena atividade no mundo.

A coleta do material foi realizada pelo pesquisador deste estudo, e em seguida foi executado o peneiramento do solo com a utilização da peneira ASTM #10 (American Society for Testing and Materials), equivalente a malha de 2,0 mm.

Figura 4 - Trecho da Avenida Candeias onde o solo foi retirado para as pesquisas



Fonte: Arquivo pessoal do autor (2023).

### 3.1.2 Rejeitos

Os rejeitos utilizados nesta pesquisa foram os rejeitos da cassiterita, devidamente retirados e coletados do solo no Garimpo bom Futuro, na região de Ariquemes, em Rondônia.

### 3.1.3 Água

A água utilizada em todo o processo de mistura foi a que abastece o Centro Universitário FAEMA – UNIFAEMA, em Ariquemes/RO.

## 3.2 PROCEDIMENTOS LABORATORIAIS

### 3.2.1 Da análise dos dados

A análise dos dados foi realizada no Laboratório do Centro Universitário FAEMA – UNIFAEMA. As amostras que foram coletadas seguiram os procedimentos estabelecidos na NM 26, de acordo com a ABNT de 2009.



Para a análise do solo foram separadas amostras, realizando o estudo da densidade, da liquidez e da plasticidade. Realizando a análise três vezes para a amostra do solo, assim como três vezes para a amostra dos rejeitos de cassiterita.

Os procedimentos laboratoriais utilizados neste estudo foram balizados nos ensaios tradicionais da mecânica dos solos, com o objetivo de caracterizar e classificar os solos por intermédio das misturas realizadas com as diferentes dosagens de água. O solo coletado foi anteriormente analisado e feita sua classificação, e com os dados obtidos foram empregados como referência para as misturas realizadas. Posteriormente, foram avaliadas as misturas com três percentuais diferentes, a saber: com 10% e 30% de água relativa à massa de solo, sem que houvesse a substituição de material.

### **3.2.2 Preparação das amostras**

Após o estudo da classificação e caracterização do solo, as amostras foram preparadas, considerando a serem estudadas as amostras das misturas do solo e da água. Com os seguintes percentuais: 10% e 30% de água relativa à massa de solo.

A fim de uma obtenção de informações mais precisas, foram preparadas 3 amostras relativa a cada percentual escolhida do solo, solo realizada a mistura manualmente para alcançar uma forma homogênea do solo e da água.

### **3.2.3 Ensaio de granulometria**

Foram realizados 3 ensaios: granulometria, massa específica e teor de umidade. Sendo usado 1 de solo e 2 de rejeitos. Para estes ensaios foram utilizadas 7 peneiras. As peneiras utilizadas para a realização dos ensaios possuem malha de 9,5 mm, 4,75 mm, 2,00 mm, 1,18 mm, 150 µm, 600 µm e 300 µm. A peneiração foi realizada na frequência de 5 tempo de 2 min, usando porcentagens de 2 kg por teste.

Figura 5 - 7 peneiras



Fonte: Arquivo pessoal do autor (2023).

Figura 6 - Solo



Fonte: Arquivo pessoal do autor (2023).

Figura 7 - Cassiterita



Fonte: Arquivo pessoal do autor (2023).

Sendo usado 1,4 kg de solo + 600 g dos demais materiais em cada teste de 30% e 1,7 kg de solo + 300 g para 10%. Após a peneiração todo o material foi pesado individualmente em cada peneira. Foram utilizados os três materiais para ser feito a peneiração sendo feito dois ensaios com cada material.

### 3.2.4 Ensaio de teor de umidade

O segundo teste foi relacionado ao teor de umidade, ele foi realizado da seguinte forma: o material cru foi colocado em cápsulas sem que tenha passado por nenhum processo de secagem (estava úmido). Cada cápsula foi pesada individualmente, em seguida colocado o material úmido e pesado novamente. Foram realizadas 3 amostras para cada solo.

Figura 8 - Material cru e úmido



Fonte: Arquivo pessoal do autor (2023).

Após este processo as cápsulas foram levadas à estufa por 24 h a 105° C. Passado o horário determinado o material seco foi pesado novamente a fim de obter uma maior compreensão da umidade do solo.

### 3.2.5 Ensaio de massa específica

O último teste foi o de massa específica, sendo realizado da seguinte forma e de acordo com as figuras abaixo.

Figura 9 - Material cassiterita na hora que foi colocado



Fonte: Arquivo pessoal do autor (2023)

Figura 10 - Material de rejeito monazita na hora que foi colocado



Fonte: Arquivo pessoal do autor (2023).

Figura 11 - Material de rejeito cassiterita 24 h depois de colocado



Fonte: Arquivo pessoal do autor (2023).

Neste teste foram utilizadas provetas, sendo colocado 500 g do rejeito de cassiterita mais 200 ml de água destilada, esperando que o material assentasse após um intervalo de 24 h. Com o material de solo foram utilizadas 250 gramas mais 200 ml de água destilada, considerando que quando colocava 500 g a água secava, diminuindo a quantidade de solo, de acordo com a orientação repassada não iria interferir no valor final, somente alterei os valores de cálculos. E no rejeito de monazita foi utilizada uma proveta com 500 g de rejeito mais 200 ml de água destilada.

### 3.2.6 Ensaio de limite de liquidez

No teste de limite de liquidez, figura 15, foi utilizado o material de solo puro, fundamentado na norma NBR 6459, na norma 7180 e o método utilizado, assim como a norma 6457 e uma norma complementar. Sendo utilizado como material para o teste: amostra de argila, balança, placa de vidro, equipamento de Casagrande, 4 receptores, cápsula, espátula de lâmina, pinça e água destilada.

Figura 12 - Ensaio de limite de liquidez



Fonte: Arquivo pessoal do autor (2023).

O modo de preparo foi realizado da seguinte forma: peneiramento de 150 a 200 g do solo, passado na peneira 0,42 cm de malha. Após o peneiramento foi utilizado na primeira amostra 17 golpes do ensaio de Casagrande.

Figura 13 - Equipamentos ensaio Casagrande



Fonte: Arquivo pessoal do autor (2023).

Na figura 16, está apresentado o equipamento utilizado no ensaio de Casagrande para encontrar o limite de liquidez e o índice de plasticidade. Primeiramente foi realizado o cálculo do limite de liquidez com o principal objetivo de descobrir a umidade do solo através dos seguintes cálculos:

- 1) Primeiramente encontra-se a água: amostra umidade – amostra seca = água
- 2) Após amostra seca – tara= solo
- 3) Água/solo\*100= umidade %

### 3.2.7 Ensaio de limite de plasticidade

Para a realização deste ensaio, foi coletada 10 g da amostra preparada e formou-se bolinhas com o auxílio da mão, posteriormente, a pequena bola formada foi rolada sobre a placa de vidro com uma pressão suficiente com a palma da mão para transformá-la em um cilindro, esticando até alcançar um tamanho de 10cm por 3mm de espessura, cortando-se em 3 pedaços e leva-se para a estufa a fim de secar por 24 horas como demonstrado nas figuras 14 e 15.

Figura 14 - Ensaio de limite de plasticidade



Fonte: Arquivo pessoal do autor (2023).

Figura 15 - Ensaio de limite de plasticidade



Fonte: Arquivo pessoal do autor (2023).

Na primeira amostra úmido 10,700g e seco 10,037g, na segunda amostra úmido 11,090g e seco 10,486g, na terceira amostra úmido 13,000g e seco 11,963g e na quarta amostra úmido 11,405g e seco 10,575g.

### 3.2.8 Ensaio de compactação

O último ensaio é o de compactação dos solos com o objetivo de ter uma relação entre a massa específica do solo. De acordo com a NBR 7182/86 o objetivo é determinar o peso específico aparente seco máximo e umidade ótima do solo utilizado no ensaio.

Este ensaio de compactação realizou-se da seguinte forma: foi utilizado o cilindro de proctor pequeno, sendo retirada todas as medidas com um paquímetro, após essa etapa mede a tara do cilindro e a tara das cápsulas. Utiliza-se 3 kg do material, passando na peneira de 4.8 milímetros.

Em seguida é misturado o solo com água até obter uma amostra homogênea. Foram aplicados 26 golpes na primeira camada com um soquete pequeno de massa de 2,5 kg e uma altura de queda de 30,5 cm, após compactar a primeira camada adicionou-se mais solo para compactar com mais 26 golpes, mais uma camada é adicionada e aplicados mais 26 golpes.



Figura 16 - Ensaio de compactação



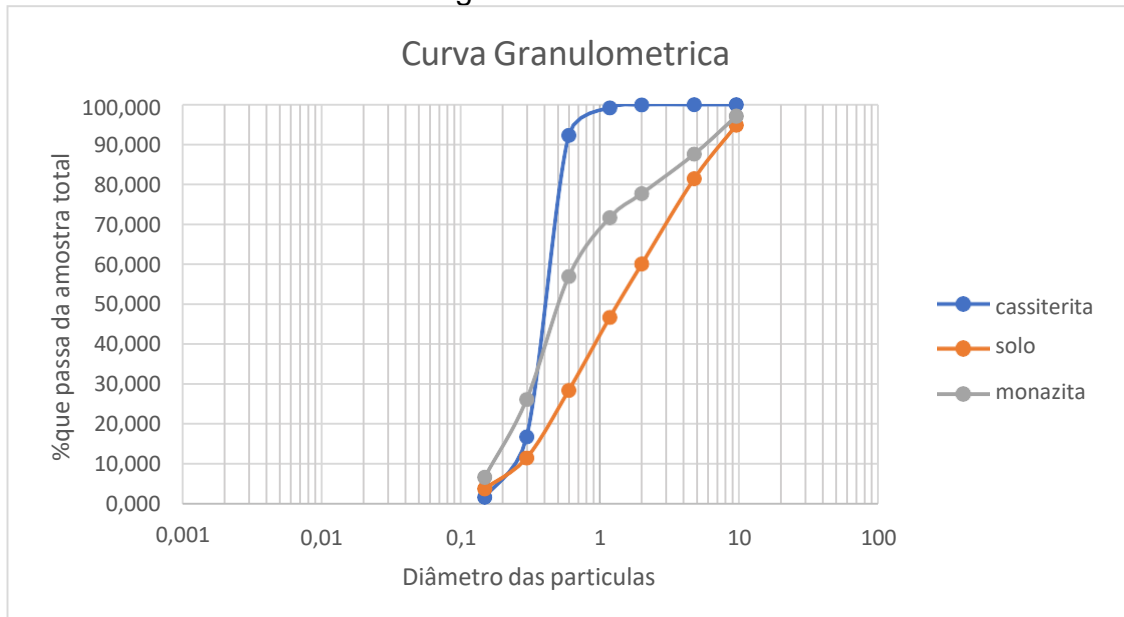
Fonte: Arquivo pessoal do autor (2023).

Após isso retira-se o colarinho do cilindro sendo pesado com o solo, após pesará colocado no extrator manual para remover o solo do cilindro. Tira-se partes distintas para achar o teor de umidade onde é colocado nas cápsulas e pesado depois, ficando 24 horas na estufa. Esse processo do solo é feito em 5 testes.

## 4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

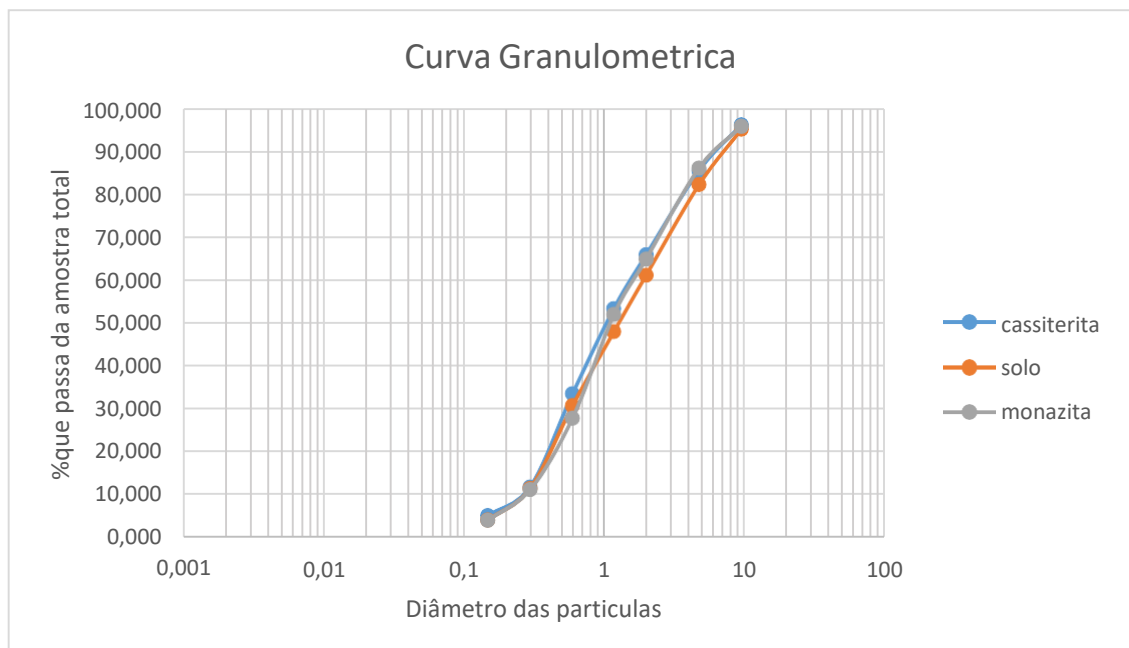
Os dados obtidos nos ensaios para curva de granulometria estão resumidos nos gráficos abaixo.

Gráfico 1 - Curva granulométrica dos solos naturais



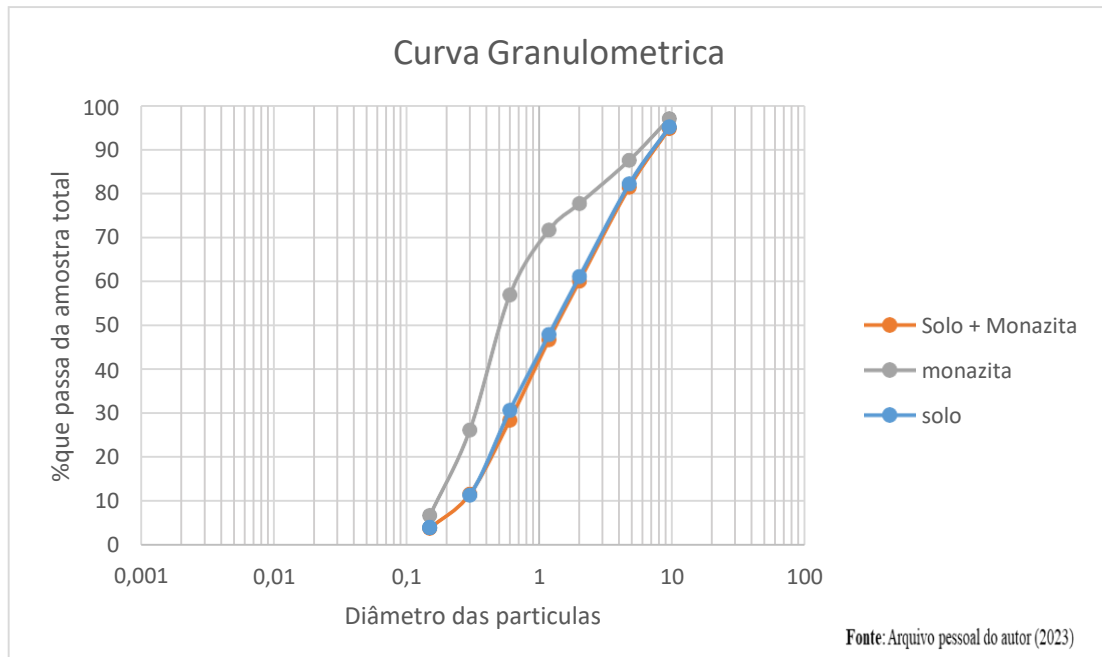
Fonte: Autor (2023).

Gráfico 2 - Curva granulométrica do solo natural + 10% de rejeitos



Fonte: Autor (2023).

Gráfico 3 - Curva granulométrica com adicionais de solos + rejeitos 30%



Fonte: Autor (2023).

De acordo com a norma NBR 7211 existem limites estabelecidos: Nota 1 o módulo de finura de zona ótima varia de 2,20 a 2,90; Nota 2 o módulo de finura da zona utilizável inferior varia de 1,55 a 2,20; Nota 3 o módulo de finura da zona utilizável superior varia de 2,90 a 3,50. Onde o gráfico acima mostra que o rejeito de cassiterita 1,90; Solo utilizável superior a 3,68; Rejeito de monazita 2,73 encontra se em zona ótima. Esses materiais estão puros.

Foi apresentado monazita + solo 3,24 de finura onde é utilizável superior. Foi apresentado rejeito escuro + solo 2,85 de finura onde ficou em zona ótima. Pode deduzir-se, através da comparação das curvas granulométricas que as adições de rejeito de cassiterita e de monazita ao solo natural alteraram pouco as dimensões de suas partículas, mas fica claro que a adição de cassiterita e monazita tem capacidade de agrupar as partículas deslocando as curvas um pouco para a direita, isso pode facilitar a drenagem e a resistência do material quando for aplicado em campo.

Os dados obtidos nos ensaios para o limite de liquidez estão resumidos nas tabelas e gráficos abaixo.

Tabela 1 - Limite de liquidez areia do solo puro

<b>CAPSULA Nº</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
Amostra úmida + Tara (g)	46.600	44.369	50.001	47.820	48.068
Amostra seca + Tara (g)	38.850	37.503	41.837	39.821	40.036
Água (g)	7.750	6.866	8.164	7.999	8.032
Solo (g)	30.090	30.637	33.673	31.822	32.004
Tara (g)	8.760	9.080	8.897	9.098	8.906
<b>Umidade %</b>	<b>25,75607</b>	<b>22,41081</b>	<b>24,24494</b>	<b>25,1367</b>	<b>25,09686</b>
Número de golpes	17	19	23	24	27

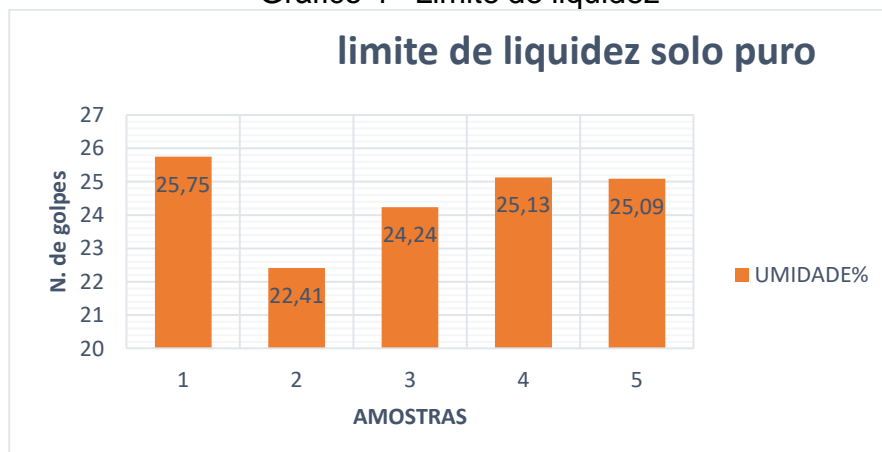
Fonte: Autor (2023).

De acordo com Carneiro et al. (2001) por intermédio do limite de liquidez é possível identificar a umidade de mudança entre os estados líquido e plástico do material estudado. A NBR 6459 determina o limite de liquidez por meio do aparelho Casagrande (2016).

Conforme tabela 1, na primeira amostra foram usados 17 golpes, resultando na amostra molhada 46.600 gramas, depois de 24 horas na estufa caiu para 38.850. Na amostra 2, foram usados 19 golpes, apresentando 44.369 gramas úmido e 37.503 seco. Na amostra 3 foram utilizados 23 golpes, transformando-se em 50.001 gramas úmidas e 41.837 seco. Já na amostra 4 foram usados 24 golpes, convertendo em 47.820 g úmido e 39.821 seco.

Considerando os teores de umidade abaixo da LL, o solo passa a ter plasticidade e resistência à deformação no material. Experimentalmente o limite de liquidez, como já mencionado, pode ser determinado com o aparelho de Casagrande. (MARINHO, 2020).

Gráfico 4 - Limite de liquidez



Fonte: Autor (2023).

Após encontrar o cálculo do número de umidade utilizou-se o Microsoft Excel para representar em forma de gráfico em coluna para representar. Sendo feito da seguinte forma: Com os pares de valores dos números de golpes e o teor de umidade construiu-se um gráfico em coluna para encontrar através da informação o momento exato onde se corta os eixos 25, nesse caso graficamente o limite de liquidez e 25,01%.

No que diz respeito ao limite de plasticidade, este demonstra a umidade de transição do estado plástico para o estado semissólido. Possibilitando encontrando o índice de plasticidade levando em consideração a diferença entre esses dois limites (CARNEIRO et al., 2001). Nas considerações de Caputo (1996) o índice de plasticidade (IP) ao ser analisado e definido, determina o estado plástico do material, desse modo, quanto maior o IP, mais plástico se torna o solo, e, conseqüentemente, mais argiloso.

Tabela 2 - Limite de plasticidade do solo puro

<b>CAPSULA Nº</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
S + A + T (g)	14.700	15.533	17.250	15.705	16.380
S + T (g)	14.037	14.929	16.247	14.975	15.687
Água (g)	663	604	1.003	730	693
Solo (g)	10.035	10.486	11.996	10.575	11.598
Tara (g)	4.002	4.443	4.251	4.400	4.089
<b>Umidade %</b>	<b>6,61</b>	<b>5,76</b>	<b>8,36</b>	<b>6,90</b>	<b>5,98</b>

Fonte: Autor (2023).

Nesse cálculo foi usado o mesmo método do cálculo de limite de liquidez, com uma diferença que no teste de umidade somou-se tudo e dividiu-se por 5, e assim foi achado o limite de plasticidade, que nesse caso é 6,72%. Após achar o limite de liquidez e o limite de plasticidade é feito o cálculo para encontrar o índice de liquidez que se dá pela tabela na norma onde serão identificados os tipos de solos e a qualidade deles. Matematicamente, ele pode ser definido como a diferença entre o limite de liquidez e o limite de plasticidade, logo, tem-se:

$$IP = LL - LP$$

$$IP = 25,01 - 6,72$$

$$INDICE DE PLASTICIDADE = 18,28\%$$

O Limite de Plasticidade (LP) é considerado como o teor de umidade no momento em que o solo deixa de ser plástico, transformando-se em quebradiço. Passando do estado plástico para o estado semi-sólido do solo. A NBR 7180/84 determina o Limite de Plasticidade de acordo com suas prescrições. (KLAMT, 2012). Como já mencionado anteriormente, a amostra é transformada em cilindro de 3mm, e sua umidade é determinada a partir do instante em que ela se parte. (KLAMT 2012).

Pode-se entender o índice de plasticidade como o “intervalo de plasticidade do solo”, ou seja, quanto maior o valor de IP, mais plástico ele será, assim como também será mais compressível. Jenkins classifica o solo, segundo seu índice de plasticidade da seguinte forma:

- $1 < IP < 7$ : solos fracamente plásticos;
- $7 < IP < 15$ : solos medianamente plásticos;
- $IP > 15$ : solos altamente plásticos.

Deste modo, os resultados encontrados apontam que o solo estudado é um solo altamente plástico.

Tabela 3 - Limite de liquidez areia do solo puro + rejeito cassiterita 30%

CAPSULA Nº	1	2	3	4	5
Amostra úmida + Tara (g)	65.891	63.698	63.659	67.591	64.948
Amostra seca + Tara (g)	56.896	54.569	55.070	58.649	56.145
Água (g)	8.994	9.129	8.590	8.942	8.803
Solo (g)	48.031	45.440	46.480	49.706	47.342
Tara (g)	8.865	8.996	8.897	9.001	8.869
<b>Umidade %</b>	<b>18,73</b>	<b>20,09</b>	<b>18,48</b>	<b>17,99</b>	<b>18,59</b>
Número de golpes	19	17	19	19	20

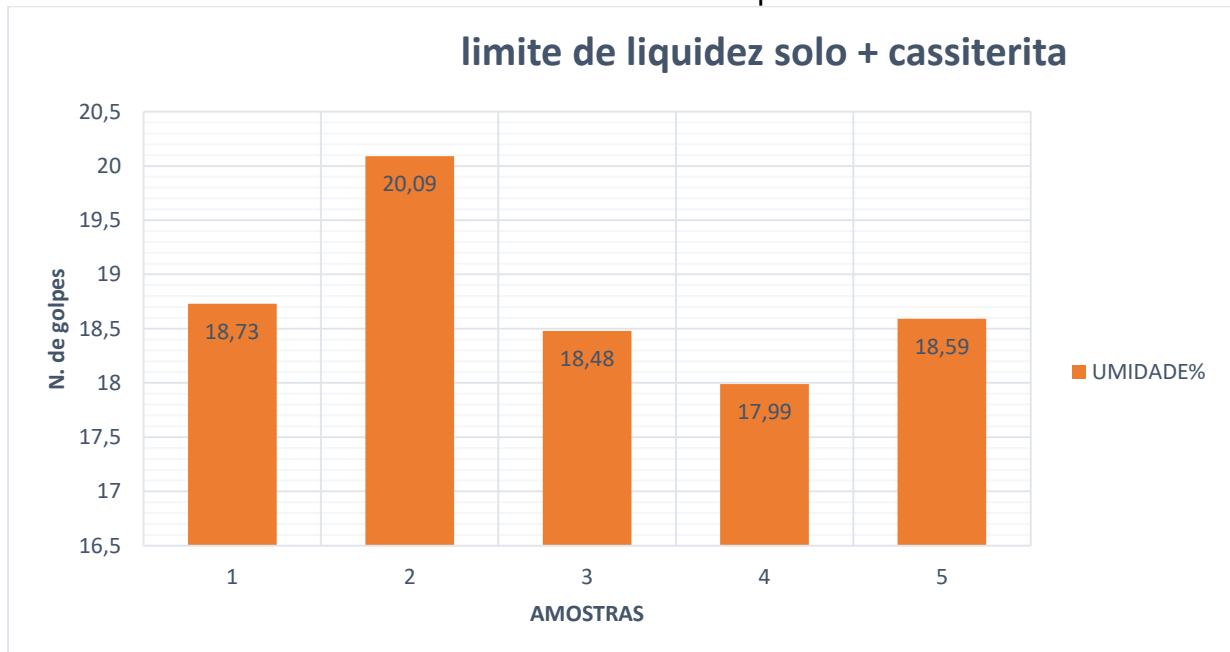
Fonte: Autor (2023).

Tabela 4 - Limite de plasticidade areia do solo puro + rejeito cassiterita 30%

CAPSULA Nº	1	2	3	4	5
S + A + T (g)	19.659	18.695	18.958	19.455	18.657
S + T (g)	19.156	18.258	18.268	18.982	18.102
Água (g)	503	437	690	473	555
Solo (g)	15.098	14.133	14.077	14.732	14.028
Tara (g)	4.058	4.125	4.191	4.250	4.074
<b>Umidade %</b>	<b>3,33</b>	<b>3,09</b>	<b>4,90</b>	<b>3,21</b>	<b>3,96</b>

Fonte: Autor (2023).

Gráfico 5 - Limite de liquidez



Fonte: Autor (2023).

Os resultados apontaram o limite de liquidez com um índice de 20,2, umidade 18,48, limite de plasticidade 3,96, com um índice de plasticidade de 16,80%. Graficamente não se encontra um resultado ideal.

Tabela 5 - Limite de liquidez areia do solo puro + rejeito de monazita 30%

CAPSULA Nº	1	2	3	4	5
Amostra úmida + Tara (g)	48569,59	47687,36	43659,47	47568,24	44256,24
Amostra seca + Tara (g)	41256,69	39698,45	36587,14	39456,78	36698,88
Água (g)	7312,9	7988,91	7072,33	8111,46	7557,36
Solo (g)	32391,33	31709,54	29514,81	31345,32	29141,52
Tara (g)	8865,36	8996	8897	9000,69	8869,25
Umidade %	22,58	25,19	23,96	25,88	25,93
Número de golpes	1	23	26	25	22

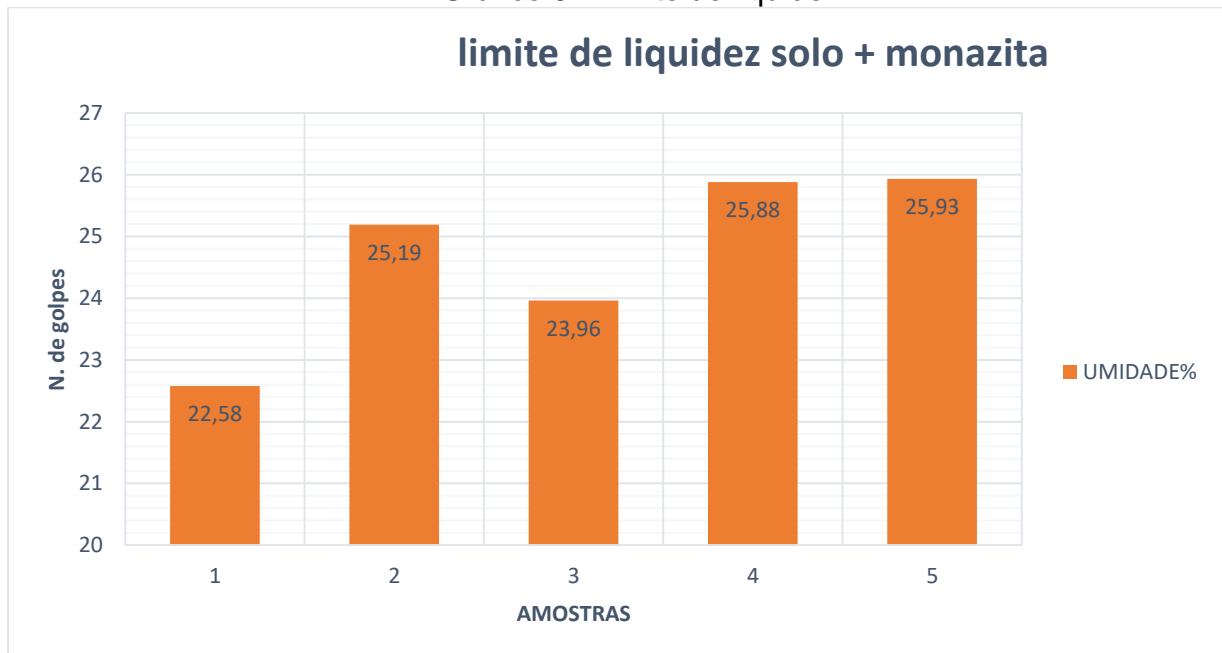
Fonte: Autor (2023).

Tabela 6 - Limite de plasticidade areia do solo puro + rejeito de monazita 30%

CAPSULA Nº	1	2	3	4	5
S + A + T (g)	20365	20489	20547	20102	20456
S + T (g)	20014	20109	20201	19774	20098
Água (g)	351	380	346	328	358
Solo (g)	15956	15984	16010	15524	16024
Tara (g)	4058	4125	4191	4250	4074
Umidade %	2,20	2,38	2,16	2,11	2,23

Fonte: Autor (2023).

Gráfico 6 - Limite de liquidez



Fonte: Autor (2023).

Os resultados apontaram o limite de liquidez com um índice de umidade de 25,93, limite de plasticidade 2,23 e com um índice de plasticidade de 23,70%.

Já no ensaio de compactação foram encontrados os seguintes resultados, apresentados nas tabelas e gráficos:

Tabela 7 - Ensaio de compactação areia do solo puro 30%

CILINDRO N <sup>o</sup>	1	2	3	4	5
Amostra úmida + cilindro (g)	3600,25	3789,69	3869,69	3759,69	3579,69
Cilindro (g)	1900,65	1997,02	1953,69	1969,75	1.997,06
Amostra umida (g)	1699,6	1792,67	1916	1789,94	1582,63
Volume do cilindro (g/cm <sup>3</sup> )	1.200,65	1.335,00	1.335,00	1.250,00	1.335,00
massa específica natural (g/cm <sup>3</sup> )	1,42	1,34	1,44	1,43	1,19

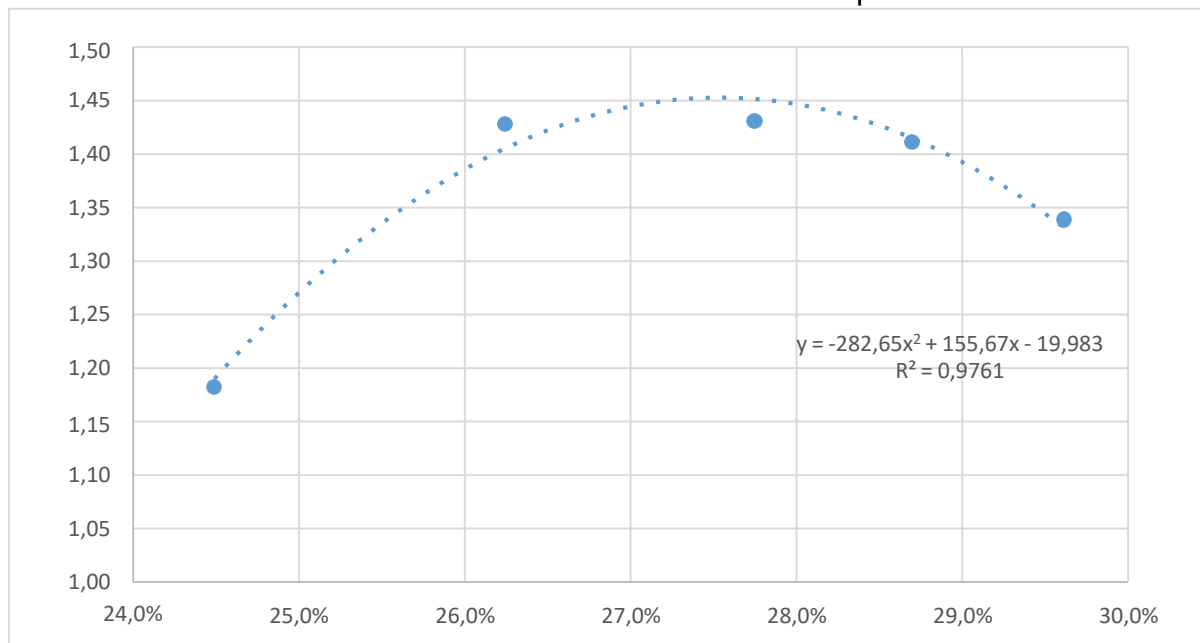
Fonte: Autor (2023).

Tabela 8 - Determinação do teor de umidade 30%

Capsula n <sup>o</sup>	1	2	3	4	5
Amostra úmida+ capsula (g)	78,02	83,56	82,69	83,12	84,09
Amostra seca + capsula (g)	64,01	67,59	67,59	69,13	70,69
Água (g)	14,01	15,97	15,1	13,99	13,4
Capsula (g)	15,19	13,66	13,17	15,82	15,97
Amostra seca (g)	48,82	53,93	54,42	53,31	54,72
Teor de umidade (g)	28,7%	29,6%	27,7%	26,2%	24,5%
Massa específica aparentemente seca(g/cm <sup>3</sup> )	1,41	1,34	1,43	1,43	1,18

Fonte: Autor (2023).

Gráfico 7 - Teor de umidade e de massa específica



Fonte: Autor (2023).

Tabela 9 - Parâmetros ótimos

teor de umidade	YD (g/cm <sup>3</sup> )
27,5	1,45

Fonte: Autor (2023).



Tabela 10 - Ensaio de compactação areia do solo puro + rejeito cassiterita 30%

CILINDRO N °	1	2	3	4	5
Amostra úmida + cilindro (g)	4099,69	4299,69	4350,36	4210,69	4099,69
Cilindro (g)	1900,65	1997,02	1953,69	1969,75	1.997,06
Amostra úmida (g)	2199,04	2302,67	2396,67	2240,94	2102,63
Volume do cilindro (g/cm <sup>3</sup> )	1.200,65	1.335,00	1.335,00	1.250,00	1.335,00
Massa especifica natural (g/cm <sup>3</sup> )	1,83	1,72	1,80	1,79	1,58

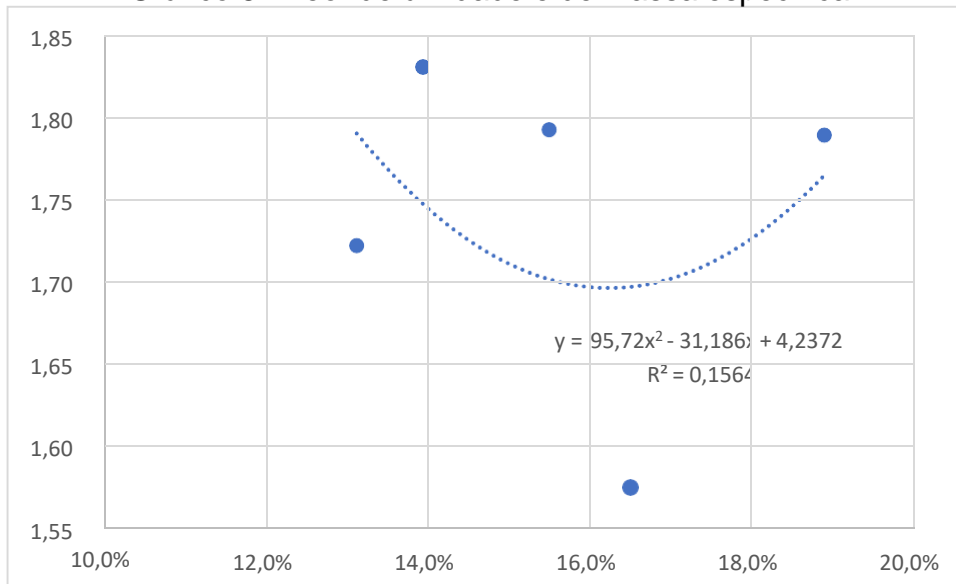
Fonte: Autor (2023).

Tabela 11 - Determinação do teor de umidade

Capsula nº	1	2	3	4	5
Amostra úmida+ capsula (g)	89,69	90,65	89,78	90,45	87,69
Amostra seca + capsula (g)	80,59	81,69	79,47	78,56	77,54
Água (g)	9,1	8,96	10,31	11,89	10,15
Capsula (g)	15,19	13,66	13,17	15,82	15,97
Amostra seca (g)	65,4	68,03	66,3	62,74	61,57
Teor de umidade (g)	13,9%	13,2%	15,6%	19,0%	16,5%
Massa especifica aparentemente seca (g/cm <sup>3</sup> )	1,83	1,72	1,79	1,79	1,57

Fonte: Autor (2023).

Gráfico 8 - Teor de umidade e de massa específica



Fonte: Autor (2023).

Tabela 12 - Ensaio de compactação areia do solo puro + monazita

CILINDRO N <sup>o</sup>	1	2	3	4	5
Amostra úmida + cilindro (g)	3710,25	3795,69	4000,69	3895,69	3895,69
Cilindro (g)	1900,65	1997,02	1953,69	1969,75	1.997,06
Amostra úmida (g)	1809,6	1798,67	2047	1925,94	1898,63
Volume do cilindro (cm <sup>3</sup> )	1.200,65	1.335,00	1.335,00	1.250,00	1.335,00
Massa específica natural (g/cm <sup>3</sup> )	1,51	1,35	1,53	1,54	1,42

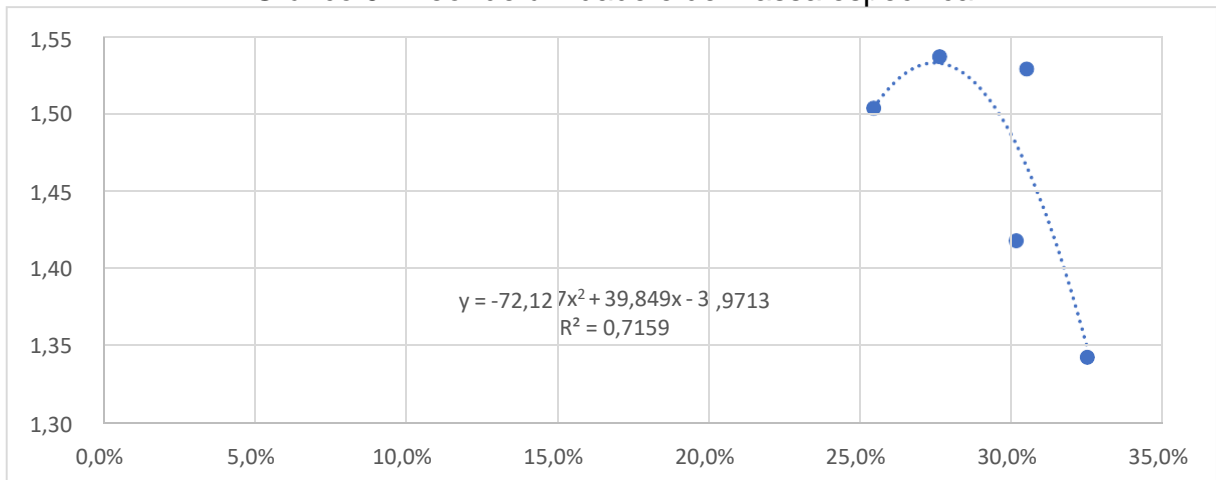
Fonte: Autor (2023).

Tabela 13 - Determinação do teor de umidade + monazita

Capsula n <sup>o</sup>	1	2	3	4	5
Amostra úmida+ capsula (g)	80,21	82,56	83,67	80,69	82,19
Amostra seca + capsula (g)	66,95	65,59	67,12	66,58	66,78
Água (g)	13,26	16,97	16,55	14,11	15,41
Capsula (g)	15,19	13,66	13,17	15,82	15,97
Amostra seca (g)	51,76	51,93	53,95	50,76	50,81
Teor de umidade (g)	25,6%	32,7%	30,7%	27,8%	30,3%
Massa específica aparentemente seca (g/cm <sup>3</sup> )	1,50	1,34	1,53	1,54	1,42

Fonte: Autor (2023).

Gráfico 9 - Teor de umidade e de massa específica



Fonte: Autor (2023).

Teor De Umidade 27,5 com  $Y_d=1,53$

O ensaio de compactação é para encontrar a densidade ótima do material a fim de saber a qualidade do solo compactado.

O ensaio de compactação compreende em aumentar a massa específica aparente de um solo através da aplicação de pressão, impacto ou vibração, fazendo com que as partículas constitutivas do material utilizado tenham um contato mais íntimo, expulsando o ar. Para a realização desse ensaio foi necessário a utilização de um cilindro Proctor (normal, intermediário ou modificado) (KLAMT, 2012).

Quando foi utilizado o solo puro sem nenhum rejeito, naturalmente, nitidamente era um material mais plástico, sem espaço de ar algum, um material plástico ao extremo.

Clemente, Faro e Moncada (2019, p. 1) apontam que “através da consistência dos solos é possível estimar o seu comportamento perante tensões e deformações, influenciando na resistência à penetração e na compactação e afetando a condutividade hidráulica”. Curva de compactor para encontrar o teor de umidade ótima e o peso específico máximo. A ideia da compactação é reduzir os vazios ao mínimo possível.

Quando realizado com o rejeito de monazita que é o rejeito claro, com 10% houve pouca diferença, mas com 30% já dava para perceber um material mais solto, mais seco.

Com o solo e o rejeito de cassiterita, que é o rejeito escuro, com 10% também apresentou pouca diferença, mas com 30% o material ficou bem arenoso, material que facilmente se abria, pouco plástico. Nesse modelo teria que ser feito uma base para fazer o asfalto.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para que fosse alcançado o objetivo central desta pesquisa realizou-se uma pesquisa bibliográfica com os autores abrangendo a temática proposta, sendo estas realizadas em livros, artigos da internet, teses, dissertações, dentre outros. Assim como, os ensaios com o material coletado foram feitos no Laboratório do Centro Universitário FAEMA – UNIFAEMA. E estes dados foram analisados e transformados em informações que, conjuntamente, contribuem para a apreciação deste trabalho.

Há que se dizer que os objetivos fixados para o trabalho, foram alcançados, bem como foi possível responder à hipótese proposta que buscou responder quais as possibilidades da viabilidade técnica da estabilização de solos com rejeitos de cassiterita para uso em pavimentação rodoviária.

Percebe-se diante do estudo fundamentado que os objetivos foram alcançados, através das considerações e ideias explanadas no referencial teórico e na análise dos resultados, demonstrando que há viabilidade da utilização de solos com rejeitos de cassiterita nos testes apresentados, porém fica em aberto a oportunidade em desenvolver mais pesquisas e testes mais completos em compactação para ampliação da qualidade dos resultados para que possa ser definido o uso dos materiais em pavimentação.

O solo puro foi coletado em uma rodovia, solo este já adequado para a pavimentação e os rejeitos de cassiterita foram coletados no garimpo Bom Futuro. Com 10% do material de rejeito de cassiterita passou no teste de plasticidade com resultado acima de 15%, assim como o material de monazita utilizado. Com o rejeito de monazita acima de 30% fica viável realizar a pavimentação rodoviária. Já com o rejeito de cassiterita acima de 30% se tornou um solo instável houve a aprovação com 16% onde se tornou uma material instável, fato este que diminuiu a plasticidade. Deste modo, percebe-se que o rejeito de cassiterita até de 30% é viável.

Neste trabalho, portanto, de forma breve, pode-se comprovar e registrar que com a utilização acima de 10% tanto de rejeitos de monazita quanto o rejeito de cassiterita é viável a sua utilização na pavimentação nos testes apresentados, É quando utilizado 30% dos rejeitos, o de monazita poderá ter viabilidade técnica para esta atividade, o de cassiterita também apresenta viabilidade, mas fica em aberto a oportunidade de testes complementares mais específicos em compactação dos solos para definir os parametros específicos de qualidade do material estudado .

Esta também pode ser uma pequena contribuição e um incentivo a novas pesquisas nesta área de estudo, como forma de ampliar o conhecimento na área viabilidade técnica da estabilização de solos com rejeitos de cassiterita para uso em pavimentação rodoviária.

## REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6457**: Amostra de solo – preparação para ensaios de compactação e ensaio de caracterização. Rio de Janeiro, 1986.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6459 (2016)**. Solo – Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7180**: Determinação do Limite de Plasticidade. Rio de Janeiro, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7182 (2016)**. Solo – Ensaio de compactação. Rio de Janeiro.
- BALBO, J. T. **Pavimentação asfáltica**: materiais, projeto e restauração. São Paulo, SP: Oficina de Textos. 2007.
- BERNUCCI, L. B. et al. **Pavimentação asfáltica**: formação básica para engenheiros, Rio de Janeiro, PETROBRAS: ABEDA, 2006. 504 F. Disponível em: <<https://www.ufjf.br/pavimentacao/files/2018/03/Cap-7-Materiais-e-estruturas-de-pavimentos-asf%C3%A1lticos.pdf>>. Acesso em: 10 abr. 2023.
- BERNUCCI, L. B. et al. **Pavimentação asfáltica**: Formação básica para engenheiros capítulo 1. 3. ed. 2010. Rio de Janeiro. PETROBRAS: ABEDA 2010. 496 p. Disponível em: <http://www.ufjf.br/pavimentacao/videos/livropavimentacao-asfaltica/>. Acesso em: 10 abr. 2023.
- BOSCOV, M. E. G. **Geotecnia Ambiental**, São Paulo: Oficina de Textos, 2008.
- BRINGEL, A. I. M. C. **Estabilização de solos da ilha de São Luís com cal e cinza volante para utilização em pavimentação**. Iniciação Científica – Universidade Estadual do Maranhão - São Luís. 2018.
- CAPUTO, P. H. **Mecânica dos solos e suas aplicações**. Rio de Janeiro: 6ª ed v 1, 1996.
- CARNEIRO, A. P. et al. **Reciclagem de entulho para a produção de materiais de construção**: projeto entulho bom. 312 p. Salvador, 2001.
- CLEMENTE, C. W.; FARO, V. P.; MONCADA, M. P. H. Determinação do Limite de Liquidez através do Cone Sueco. **XII Simpósio de Práticas de Engenharia Geotécnica da Região Sul GEOSUL 2019** – 17 a 19 de Outubro, Joinville, Santa Catarina, 2019.
- CNT. Confederação Nacional do Transporte. **Anuário do Transporte**. 2017. Disponível em: <<https://anuariodotransporte.cnt.org.br/2020/Rodoviario/1-1-/Inicial>>. Acesso em: 10 abr. 2023.

COELHO, R. V. et. al. Uso de lodo de estação de tratamento de água na pavimentação rodoviária. **REEC – Revista Eletrônica de Engenharia Civil**. Vol.10 - nº 2. 2015.

CRUZ, M. L. S; JALALI, S. **Melhoramento do desempenho de misturas de solo-cimento**. Guimarães: Universidade do Minho, 2010.

CYPHER ENVIRONMENTAL. 2016. Disponível em: <<http://www.cypherenvironmental.com/en/soilstabilization>>. Acesso em: 10 abr. 2023.

DNER-ME 228/94 (1994) – **Solos** - Compactação em Equipamento Miniatura, São Paulo, 16p.

DNIT. Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes. **Manual de Pavimentação**. Rio de Janeiro. 3ª Ed., 2006.

ECIVILNET. **Pavimento semi-rígido**. 2023. Disponível em: <<https://www.ecivilnet.com/dicionario/o-que-e-pavimento-semi-rigido.html>>. Acesso em: 10 out. 2023.

ESPOSITO, T. J. **Metodologia probabilística e observacional aplicada a barragens de rejeitos construídas por aterro hidráulico**. Tese de Doutorado, publicação G.TD – 004A/00, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF – 363p. 2000.

FERNANDES, G. F. L. **Utilização de resíduos de construção e demolição como materiais de construção de pavimentos rodoviários** – Estado da Arte. Dissertação (Mestrado) Instituto Superior de Engenharia de Coimbra. Coimbra, 2012.

GONÇALVES, F. P. O desempenho dos pavimentos flexíveis. *In*: GONÇALVES, Fernando Pugliero. **O desempenho dos pavimentos flexíveis**. [S. l.: s. n.], Porto Alegre-RS, 1999.

GONDIM, L. M. **Estudo experimental de misturas solo-emulsão aplicado às rodovias do agropólo do baixo Jaguaribe/estado do Ceará**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza. 2008.

GUIMARÃES, J. E. P. **A Cal** – Fundamentos e Aplicações na Engenharia Civil. 2ª ed. São Paulo: PINI. 2002.

KLAMT, R. A. **Utilização da cal e da cinza da casca de arroz no melhoramento das propriedades geotécnicas de solos**. Universidade Federal do Pampa – UNIPAMPA. Centro de Tecnologia de Alegrete – CTA. Alegrete. 2012.

LOPES, L. dos S. E. **Análise do comportamento mecânico e ambiental de misturas solo-cinzas de carvão mineral para camadas de base de pavimentos**. Dissertação de mestrado, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2011.

MAKUSA, G. P. **Soil stabilization methods and materials in engineering practice: State of the art review.** Sweden: Lulea? University of Technology, 2013.

MARINHO, F. **Limite de liquidez e limite de plasticidade.** 2020. Disponível em: <<https://www.guiadaengenharia.com/limite-liquidez-plasticidade/>>. Acesso em: 20 set. 2023.

MELIANDE, A. M. C. **Análise do comportamento de misturas de solos com cinza volante de carvão mineral e cal.** 2014. 149f. Dissertação (Mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

MOUSAVI, S. E. et al. Assessment of strength development in stabilized soil with CBR PLUS and silica sand. **Journal of Traffic and Transportation Engineering**, (English Edition), 2017.

NOGAMI, J. S.; VILLIBOR, D. F. **Pavimentação de baixo custo com solos lateríticos.** São Paulo, 1995.

OLIVEIRA, A. L.; ARAÚJO, R. da C. de. Estabilização do solo com adição de cimento para fins de pavimentação em vias de baixo volume de tráfego. **Revista de Engenharia e Tecnologia.** V.15, N o .1, 2023.

OTUBO, A. T. R. **Estabilização de solos com o uso de resíduos cerâmicos da construção civil.** Ilha Solteira: 2021.

SANTOS, M. N. **Análise do efeito da estabilização mecânica em matrizes de terra.** Relatório de iniciação científica – Pontifícia Universidade Católica, Rio de Janeiro. 2012.

SARTORI, G. **Estudo de estabilização de solos para fins de pavimentação na região de Campo Mourão.** Trabalho de Conclusão de Curso, UTFPR, Campo Mourão, 2015.

SENÇO, W. **Manual de técnicas de pavimentação:** volume, São Paulo, 2007.

SOLIZ, V. V. P. **Estudo de três solos estabilizados com emulsão asfáltica.** Dissertação, COPPE, Rio de Janeiro, 2007.

TEIXEIRA, I. **Estabilização de solo laterítico argiloso para utilização como camada de pavimento.** Dissertação. Universidade Estadual de Campinas. Campinas-SP. 2014.

VACCARINI, H. I. **Análise de tecnologias empregadas na pavimentação e respectivas compatibilizações regionais.** 2019. 46 f. Monografia (Bacharel em Ciências Militares) - Academia Militar das Agulhas Negras, Resende-RJ, 2019.

VGR, **A diferença entre lixo, resíduo e rejeito e como é feito o seu gerenciamento.** 2020. Disponível em: <<https://www.vgresiduos.com.br/blog/blogdiferenca-entre-lixoresiduo-rejeito/>>. Acesso em: 10 abr. 2023.



VICENTE, G. O. **Estabilização de solo com adição de resíduo de celulose para aplicação em pavimentação rodoviária**. Ilha Solteira, 2021. Dissertação de Mestrado. 67p. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho".

VIZCARRA, G. O. C. **Aplicabilidade de cinzas de resíduo sólido urbano para base de pavimentos**. 2010. Dissertação (Mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Civil, 2010.

## APÊNDICES

<b>APÊNDICE A - Areia de solo + rejeito claro monazita</b>							
<b>PENEIRAS</b>		<b>AMOSTRA 1</b>		<b>AMOSTRA 2</b>		<b>MÉDIA DAS DUAS AMOSTRAS</b>	
<b>NÚMERO</b>	<b>mm</b>	<b>PESO RETIDO (g)</b>	<b>PESO RETIDO (%)</b>	<b>PESO RETIDO (g)</b>	<b>PESO RETIDO (%)</b>	<b>PESO RETIDO ACUMULADO (%)</b>	<b>PASSANDO (%)</b>
3/8"	9,5	55	2,75	60	3,00	2,875	97,125
N° 4	4,75	275	13,75	255	12,75	16,125	83,875
N° 10	2	330	16,50	320	16,00	32,375	67,625
N° 16	1,18	195	9,75	215	10,75	42,625	57,375
N° 30	0,6	310	15,50	270	13,50	57,125	42,875
N° 50	0,3	450	22,50	500	25,00	80,875	19,125
N° 100	0,15	280	14,00	270	13,50	94,625	5,375
FUNDO	0	105	5,25	110	5,50	100,000	0,000
<b>TOTAL</b>	<b>-</b>	<b>2000</b>	<b>-</b>	<b>2000</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>
Diâmetro máximo característico (mm):			4,75	Onde ficou retido apenas 5,25% do valor total do rejeito			
Módulo de finura (mm):			3,24				
Massa específica (g/cm <sup>3</sup> ):			2,63				
Teor de umidade (%):			31,325				

**APÊNDICE B – Massa específica e rejeito claro monazita**

<b>MASSA ESPECÍFICA</b>	<b>AMOSTRA 01 - REJEITO CLARO MONAZITA</b>	
MASSA DO SOLO	250	g
VOLUME TOTAL	295	ml ou cm <sup>3</sup>
VOLUME DA ÁGUA	200	ml ou cm <sup>3</sup>
VOLUME DO SOLO	95	ml ou cm <sup>3</sup>
MASSA ESPECÍFICA = MASSA DO SOLO / VOLUME DO SOLO		
	2,63	g/cm <sup>3</sup>

**APÊNDICE C – Determinação do teor de umidade do rejeito claro monazita**

<b>CÁPSULA</b>	<b>T (g)</b>	<b>MBU (g)</b>	<b>MBS (g)</b>	<b>UMIDADE (%)</b>
N° 01	14,987	115,63	91,69	31,211
N° 02	15,404	119,87	96,36	29,040
N° 03	15,458	116,06	90,69	33,722
<b>TEOR DE UMIDADE MÉDIO</b>				
				<b>(%)</b>
				31,325

**MBU**= massa da cápsula + solo úmido  
**MBS**= massa da cápsula + solo seco  
**T**= tara (massa da cápsula)

$$W = M. \text{ água} / M. \text{ grãos} = (MBU - MBS / MBS - T) * 100 \quad 100 * (MBU - MBS) / (MBS - T)$$

**APÊNDICE D - Areia do solo**

PENEIRAS		AMOSTRA 1		AMOSTRA 2		MÉDIA DAS DUAS AMOSTRAS	
NÚMERO	mm	PESO RETIDO (g)	PESO RETIDO (%)	PESO RETIDO (g)	PESO RETIDO (%)	PESO RETIDO ACUMULADO (%)	PASSANDO (%)
3/8"	9,5	95	4,75	110	5,50	5,125	94,875
N° 4	4,75	290	14,50	245	12,25	18,500	81,500
N° 10	2	435	21,75	420	21,00	39,875	60,125
N° 16	1,18	270	13,50	265	13,25	53,250	46,750
N° 30	0,6	355	17,75	375	18,75	71,500	28,500
N° 50	0,3	330	16,50	345	17,25	88,375	11,625
N° 100	0,15	145	7,25	165	8,25	96,125	3,875
FUNDO	0	80	4,00	75	3,75	100,000	0,000
TOTAL	-	2000	-	2000	-	-	-

Diâmetro máximo característico (mm):

4,75

Módulo de finura (mm):

3,68

Massa específica (g/cm<sup>3</sup>):

1,81

Teor de umidade (%):

40,698

Onde ficou retido apenas 4% do valor total do rejeito

**APÊNDICE E – Massa específica e areia do solo**

<b>MASSA ESPECÍFICA</b>	<b>AMOSTRA 01 AREIA DO SOLO</b>	
MASSA DO SOLO	250	g
VOLUME TOTAL	338	ml ou cm <sup>3</sup>
VOLUME DA ÁGUA	200	ml ou cm <sup>3</sup>
VOLUME DO SOLO	138	ml ou cm <sup>3</sup>
MASSA ESPECÍFICA = MASSA DO SOLO / VOLUME DO SOLO		
	1,81	g/cm <sup>3</sup>

**APÊNDICE F - Determinação do teor de umidade do solo**

<b>CÁPSULA</b>	<b>T (g)</b>	<b>MBU (g)</b>	<b>MBS (g)</b>	<b>UMIDADE (%)</b>
N° 01	15,716	113,285	89,192	32,790
N° 02	15,813	95,549	68,658	50,887
N° 03	15,487	104,847	80,045	38,418
<b>TEOR DE UMIDADE MÉDIO</b>				
				<b>(%)</b>
				40,698

**MBU**= massa da cápsula + solo úmido  
**MBS**= massa da cápsula + solo seco  
**T**= tara (massa da cápsula)

$$W = \frac{M. \text{ água}}{M. \text{ grãos}} = \frac{(MBU - MBS)}{(MBS - T)} * 100 \quad 100 * (MBU - MBS) / (MBS - T)$$



Biblioteca  
Júlio Bordignon

## RELATÓRIO DE VERIFICAÇÃO DE PLÁGIO

**DISCENTE:** Davi Maciel Santos

**CURSO:** Engenharia Civil

**DATA DE ANÁLISE:** 13.12. 2023

### RESULTADO DA ANÁLISE

#### Estatísticas

Suspeitas na Internet: **4,4%**

Percentual do texto com expressões localizadas na internet [▲](#)

Suspeitas confirmadas: **4,18%**

Confirmada existência dos trechos suspeitos nos endereços encontrados [▲](#)

Texto analisado: **76,41%**

*Percentual do texto efetivamente analisado (frases curtas, caracteres especiais, texto quebrado não são analisados).*


Sucesso da análise: **100%**

*Percentual das pesquisas com sucesso, indica a qualidade da análise, quanto maior, melhor.*

Analisado por Plagius - Detector de Plágio 2.8.5  
quarta-feira, 13 de dezembro de 2023 17:21

### PARECER FINAL

Declaro para devidos fins, que o trabalho do discente **DAVI MACIEL SANTOS**, n. de matrícula **32043**, do curso de Engenharia Civil, foi aprovado na verificação de plágio, com porcentagem conferida em 4,4%. Devendo o aluno realizar as correções necessárias.

Documento assinado digitalmente  
 **HERTA MARIA DE AÇUCENA DO NASCIMENTO SI**  
Data: 13/12/2023 18:58:50-0300  
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

(assinado eletronicamente)  
**HERTA MARIA DE AÇUCENA DO N. SOEIRO**  
**Bibliotecária CRB 1114/11**  
Biblioteca Central Júlio Bordignon  
Centro Universitário Faema – UNIFAEMA