

FREDERYCO BRITO BUSANELLO

**ANÁLISE COMPARATIVA DA ESTABILIZAÇÃO DE SUBLEITO DE  
PAVIMENTAÇÃO COM A UTILIZAÇÃO DE CAL E A ADITIVO QUÍMICO EM  
PALMAS – TOCANTINS**

Palmas – TO

2020

FREDERYCO BRITO BUSANELLO

**ANÁLISE COMPARATIVA DA ESTABILIZAÇÃO DE SUBLEITO DE  
PAVIMENTAÇÃO COM A UTILIZAÇÃO DE CAL E A ADITIVO QUÍMICO EM  
PALMAS – TOCANTINS**

Trabalho de conclusão de curso (TCC II) elaborado e apresentado como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Msc. Fernando Moreno Suarte Junior.

Palmas – TO  
2020

## **AGRADECIMENTO**

Agradeço primeiramente a Deus, por sempre me dar saúde e força para conseguir chegar até o fim da graduação do curso.

Agradeço também aos meus pais Tadeu Busanello e Aparecida Busanello, que não mediram esforços para realizar meu sonho, sendo meus maiores incentivadores, exemplos de vida, compromisso, dedicação e acima de tudo honestidade.

A meu orientador, Prof<sup>o</sup> Msc. Fernando Moreno Suarte Junior, pelo suporte e conhecimento adquirido ao longo dessa jornada.

Aos meus amigos Victor Hugo Borges Barbosa e Luiz Gustavo Kalil Veloso que me auxiliaram na realização desde trabalho.

A toda minha família e aos meus amigos, obrigado por estarem sempre presentes nessa longa caminhada, por cada palavra de incentivo e pela compreensão durante aqueles momentos em que me ausentei em razão dos estudos.

Aos demais professores da instituição, por todo conhecimento adquirido, meus sinceros agradecimentos, na certeza que o aprendizado e amizade são o que nos acompanha. A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

## RESUMO

BUSANELLO, F. B. **ANÁLISE COMPARATIVA DA ESTABILIZAÇÃO DE SUBLEITO DE PAVIMENTAÇÃO COM A UTILIZAÇÃO DE CAL E A ADITIVO QUÍMICO EM PALMAS – TOCANTINS**. 2020, 76 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Civil). Centro Universitário Luterano, Palmas, TO.

Na atualidade se busca a construção de pavimentos que sejam mais sustentáveis e viáveis financeiramente, e o que acarreta em um projeto viável e o material da caixa de empréstimo, visto que o material do local não é o indicado para tal serviço, e tem que se fazer a extração de material da caixa de empréstimo degradando o meio ambiente e nem sempre se encontra nas proximidades. A estabilização química dos solos vem cada vez mais sendo estudada e desenvolvida no setor construtivo. São produtos que melhoram a qualidade dos solos, conferindo aos mesmos melhorias em sua expansão, suporte e impermeabilização, o que acarreta economia e rapidez de execução. Este trabalho tem como objetivo, estudar, analisar e comparar se com cal ou o aditivo Oxnix, e em que teores o solo da camada de subleito, que se localiza entre os Alpha Ville 1 e 2, em Palmas - Tocantins, tem um melhoramento significativo nas suas características físicas e mecânicas para utilização como camada de base na pavimentação. Com os resultados obtidos mostram que o teor de 10% de cal é o mais vantajoso financeiramente e se tem um CBR mais próximo do desejado, sendo um CBR de 41,5% e um valor de R\$/m<sup>2</sup> de 4,56 reais. Os resultados não foram satisfatórios visto que nenhum dos materiais e teores atingiram CBR superior a 60%, mas dentro dos resultados a cal teve seu destaque, visto que se teve valores em R\$/m<sup>2</sup> inferiores ao do aditivo Oxnix, e um ganho de CBR superior ao aditivo.

**Palavras chave:** Estabilização química, Cal, Oxnix, CBR, subleito.

## ABSTRACT

Nowadays, the construction of pavements that are more sustainable and financially viable is sought, and what leads to a viable project and the material of the loan box, since the material of the place is not indicated for such service, and it is necessary to extract material from the loan box, degrading the environment and it is not always nearby. The chemical stabilization of soils is increasingly being studied and developed in the construction sector. These are products that improve the quality of soils, giving them improvements in their expansion, support and waterproofing, which results in savings and speed of execution. This work aims to study, analyze and compare whether with lime or the Oxnix additive, and at what levels the subgrade layer soil, which is located between Alpha Ville 1 and 2, in Palmas - Tocantins, has an improvement significant in its physical and mechanical characteristics for use as a base layer in paving. With the results presented, showing that the 10% lime content is the most financially advantageous and the CBR is closer to the desired one, with a CBR of 41.5% and a value of R \$ / m<sup>2</sup> of R \$ 4.56. The results were not satisfactory since none of the materials and contents reached CBR higher than 60%, but within the results, lime stood out, since there were values in R / \$ / m<sup>2</sup> lower than the additive Oxnix, and a gain of CBR superior to the additive.

**Keywords:** Chemical stabilization, Lime, Oxnix, CBR, subgrade.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>FIGURA 1 - DISTRIBUIÇÃO DE TENSÕES NAS CAMADAS DO PAVIMENTO.</b>	15
<b>FIGURA 2 - TERMINOLOGIA DO SISTEMA UNIFICADO.</b>	16
<b>FIGURA 3 - CLASSIFICAÇÃO HIGHWAY RESEARCHBOARD (HRB).</b>	16
<b>FIGURA 4 - LOCALIZAÇÃO DO LOCAL DE COLETA DO SOLO.</b>	27
<b>FIGURA 5 - CURVA DE GRANULOMETRIA DE AGREGADOS.</b>	29
<b>FIGURA 6 - LIMITE DE LIQUIDEZ.</b>	30
<b>FIGURA 7 - GRÁFICO DE COMPACTAÇÃO.</b>	31
<b>FIGURA 8 - CURVA DE PRESSÃO - PENETRAÇÃO.</b>	32
<b>FIGURA 9 - REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DA SEÇÃO DO PAVIMENTO.</b>	37
<b>FIGURA 10 – ORÇAFASCIO, SOFTWARE PARA ENGENHARIA.</b>	38
<b>FIGURA 11 - CLASSIFICAÇÃO DA CURVA GRANULOMÉTRICA.</b>	39
<b>FIGURA 12 - VEÍCULOS E CARGA POR EIXO.</b>	47
<b>FIGURA 13 - LOCALIZAÇÃO DA CAIXA DE EMPRÉSTIMO, LOCAL DE BOTA FORA E DISTÂNCIA ATÉ A VIA PARA PAVIMENTAÇÃO.</b>	48

## LISTA DE GRÁFICOS

<b>GRÁFICO 1</b> - GRÁFICO DO RESULTADO DE ISC .....	22
<b>GRÁFICO 2</b> - COMPARATIVO DAS CURVAS DE ÍNDICE DE VAZIOS PELA TENSÃO EFETIVA.....	23
<b>GRÁFICO 3</b> - COEFICIENTES DE COMPRESSÃO ( $C_c$ ).....	23
<b>GRÁFICO 4</b> - COEFICIENTES DE EXPANSÃO ( $C_s$ ).....	24
<b>GRÁFICO 5</b> - CURVA DE GRANULOMETRIA.....	39
<b>GRÁFICO 6</b> – CURVA DE COMPACTAÇÃO DO SOLO NATURAL E SOLO NATURAL + CAL.....	40
<b>GRÁFICO 7</b> – CURVA DE COMPACTAÇÃO DO SOLO NATURAL E SOLO NATURAL + OXNIX.....	41
<b>GRÁFICO 8</b> - CURVA DO ISC DO SOLO NATURAL.....	42
<b>GRÁFICO 9</b> - CURVA DO ISC DO SOLO NATURAL + 2% DE CAL.....	43
<b>GRÁFICO 10</b> - CURVA DO ISC DO SOLO NATURAL + 4% DE CAL.....	43
<b>GRÁFICO 11</b> - CURVA DO ISC DO SOLO NATURAL + 6% DE CAL.....	43
<b>GRÁFICO 12</b> - CURVA DO ISC DO SOLO NATURAL + 8% DE CAL.....	43
<b>GRÁFICO 13</b> - CURVA DO ISC DO SOLO NATURAL + 10% DE CAL.....	44
<b>GRÁFICO 14</b> - CURVA DO ISC DO SOLO NATURAL + 1% DO ADITIVO OXNIX.....	44
<b>GRÁFICO 15</b> - CURVA DO ISC DO SOLO NATURAL + 2% DO ADITIVO OXNIX.....	44
<b>GRÁFICO 16</b> - CURVA DO ISC DO SOLO NATURAL + 3% DO ADITIVO OXNIX.....	45
<b>GRÁFICO 17</b> - CURVA DO ISC DO SOLO NATURAL + 4% DO ADITIVO OXNIX.....	45
<b>GRÁFICO 18</b> - CURVA DO ISC DO SOLO NATURAL + 5% DO ADITIVO OXNIX.....	45
<b>GRÁFICO 19</b> - ISC DO SOLO COM OS ADITIVOS.....	46
<b>GRÁFICO 20</b> - EXPANSÃO DO SOLO COM OS ADITIVOS.....	46
<b>GRÁFICO 21</b> - COMPARATIVO DO PREÇO UNITÁRIO DO M <sup>2</sup> .....	72

## LISTA DE TABELAS

<b>TABELA 1</b> - RESULTADO DO ENSAIO DE PENETRAÇÃO PARA O SOLO NATURAL.....	21
<b>TABELA 2</b> - RESULTADO DO ENSAIO DE PENETRAÇÃO DO SOLO COM ADITIVO OXNIX + CAL.....	21
<b>TABELA 3</b> - RESULTADO DO ENSAIO DE ISC.....	21
<b>TABELA 4</b> - COMPARAÇÃO DOS DESLOCAMENTOS VERTICAIS DAS MISTURAS EM RELAÇÃO AO SOLO NATURAL.....	23
<b>TABELA 5</b> - TABELA PARA DETERMINAR O FATOR DE CARGA (FC).....	35
<b>TABELA 6</b> - FATORES DE EQUIVALÊNCIA DE CARGA DO USCE.....	35
<b>TABELA 7</b> - ESCOLHA DO MATERIAL DE BASE.....	36
<b>TABELA 8</b> - ESPESSURA E TIPO DE REVESTIMENTO.....	36
<b>TABELA 9</b> – COEFICIENTE DE EQUIVALÊNCIA ESTRUTURAL.....	37
<b>TABELA 10</b> - COMPACTAÇÃO DAS MISTURAS DE SOLO COM OS ADITIVOS.....	42
<b>TABELA 11</b> - CÁLCULO DO FATOR DE CARGA (FC).....	47
<b>TABELA 12</b> - DADOS DE BOTA FORA PARA ELABORAÇÃO DO ORÇAMENTO.....	48
<b>TABELA 13</b> - DADOS DE ESCAVAÇÃO DA CAIXA DE EMPRÉSTIMO PARA ELABORAÇÃO DO ORÇAMENTO.....	49
<b>TABELA 14</b> - ORÇAMENTO DO SOLO NATURAL.....	50
<b>TABELA 15</b> - ORÇAMENTO DO SOLO NATURAL COM 2% DE CAL.....	52
<b>TABELA 16</b> - ORÇAMENTO DO SOLO NATURAL COM 4% DE CAL.....	54
<b>TABELA 17</b> - ORÇAMENTO DO SOLO NATURAL COM 6% DE CAL.....	57
<b>TABELA 18</b> - ORÇAMENTO DO SOLO NATURAL COM 8% DE CAL.....	59
<b>TABELA 19</b> - ORÇAMENTO DO SOLO NATURAL COM 10% DE CAL.....	61
<b>TABELA 20</b> - ORÇAMENTO DO SOLO NATURAL COM 1% DE OXNIX.....	63
<b>TABELA 21</b> - ORÇAMENTO DO SOLO NATURAL COM 2% DE OXNIX.....	65
<b>TABELA 22</b> - ORÇAMENTO DO SOLO NATURAL COM 3% DE OXNIX.....	67
<b>TABELA 23</b> - ORÇAMENTO DO SOLO NATURAL COM 4% DE OXNIX.....	69
<b>TABELA 24</b> - ORÇAMENTO DO SOLO NATURAL COM 5% DE OXNIX.....	71



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>12</b>
1.1	OBJETIVOS	12
1.1.1	Objetivo Geral	12
1.1.2	Objetivos Específicos	13
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b>	<b>14</b>
2.1	PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA	14
2.1.1	Definição de pavimentação	14
2.1.2	Classificação do pavimento	14
2.2	O SOLO	15
2.2.1	Classificação do solo	15
2.2.2	Propriedades físicas e mecânicas dos solos	17
2.2.2.1	Índice de suporte Califórnia (ISC)	17
2.2.2.2	Compactação	17
2.2.2.3	Granulometria	18
2.3	ESTABILIZAÇÃO DE SOLO PARA PAVIMENTAÇÃO	19
2.3.1	Definição	19
2.3.2	Classificação	19
2.3.3	Estabilização química com o Oxnix®	20
2.3.4	Estabilização química com cal	22
2.4	ORÇAMENTO	24
2.4.1	Composição de preço unitário	24
2.4.2	Quantitativo	25
2.4.3	Comparativo de custo	25
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>27</b>
3.1	LOCAL DA COLETA E LOCAL DOS ENSAIOS	27
3.2	COLETA DA AMOSTRA	27
3.3	METODOLOGIA PARA DOSAGEM DAS MISTURAS	28
3.4	ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO	28
3.4.1	Análise granulométrica	28
3.4.2	Limite de liquidez	29
3.4.3	Limite de plasticidade	30
3.4.4	Índice de plasticidade	30

3.4.5	Compactação.....	31
3.4.6	Índice de suporte Califórnia (CBR) .....	32
3.4.7	Expansão.....	32
3.4.8	Massa específica.....	33
3.4.9	Massa unitária .....	33
3.5	MISTURA DO SOLO COM OS ADITIVO .....	34
3.5.1	Cal .....	34
3.5.2	Oxnix .....	34
3.6	CALCULO DAS CAMADAS DA PAVIMENTAÇÃO .....	34
3.7	ORÇAMENTO.....	38
<b>4</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>39</b>
4.1	RESULTADOS DO ENSAIO DE GRANULOMETRIA E ÍNDICE DE PLASTICIDADE.....	39
4.2	RESULTADOS DO ENSAIO DE COMPACTAÇÃO .....	40
4.3	RESULTADOS DO ENSAIO DE CBR E EXPANSÃO.....	42
4.4	CALCULO DAS CAMADAS DE PAVIMENTAÇÃO E ORÇAMENTO .	46
4.4.1	solo natural .....	49
4.4.1.1	calculado da espessura da camada .....	49
4.4.1.2	orçamento .....	50
4.4.2	solo com cal.....	51
4.4.2.1	Solo com 2% cal.....	51
4.4.2.1.1	orçamento .....	52
4.4.2.2	solo com 4% cal .....	53
4.4.2.2.1	Orçamento .....	54
4.4.2.3	solo com 6% cal .....	55
4.4.2.3.1	Orçamento .....	57
4.4.2.4	solo com 8% cal .....	58
4.4.2.4.1	Orçamento .....	59
4.4.2.5	solo com 10% cal .....	60
4.4.2.5.1	Orçamento .....	61
4.4.3	solo com Oxnix .....	62
4.4.3.1	solo com 1% Oxnix.....	62
4.4.3.1.1	Orçamento .....	63
4.4.3.2	solo com 2% Oxnix.....	64
4.4.3.2.1	Orçamento .....	65

4.4.3.3 com 3% Oxnix .....	66
4.4.3.3.1 Orçamento .....	67
4.4.3.4 com 4% Oxnix .....	68
4.4.3.4.1 Orçamento .....	69
4.4.3.5 com 5% Oxnix .....	70
4.4.3.5.1 Orçamento .....	71
4.4.4 Comparativo do preço unitário.....	72
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>73</b>
<b>6 REFERÊNCIAS .....</b>	<b>75</b>

## **1 INTRODUÇÃO**

Com o passar dos anos vem se tendo uma necessidade de obras que agridem menos o meio ambiente, obras sustentáveis, e uma redução do custo total da obra, e a pavimentação é uma das obras que se tem um grande impacto no meio ambiente, pois se tem grandes volumes escavados, e também grandes distância de transportes o que deixa a obra mais cara.

Com o intuito de diminuir o custo final e o impacto que a pavimentação pode acarretar, surgiu a alternativa de estabilização de solo, tanto da fundação da pavimentação, o subleito, como as camadas do pavimento, reforço do subleito, sub-base e base, visando melhorar as características do solo para a pavimentação.

Medina e Mota (2004), comentam que a estabilização pode ser, uma estabilização mecânica, aonde é realizada em conjunto com outras técnicas e tem a compactação do solo com equipamento; estabilização granular realizada com a mistura de diferentes tipos de solo, corrigindo a granulometria; e a estabilização química que é feita com reações químicas, aonde se tem a adição de algum produto no solo.

O presente trabalho propõe a estabilização da fundação do pavimento, subleito, essa estabilização será química, utilizando cal e o estabilizante químico Oxnix como estabilizantes.

Com objetivo de comparar os estabilizantes, avaliar os dados obtidos e comparar qual dos estabilizantes mostra uma melhora nas propriedades físicas e mecânicas significativa para a pavimentação, e verificar com um pré-dimensionamento qual é financeiramente mais viável. Pois o trabalho visa indicar o aditivo que além de ajudar na preservação dos recursos naturais, com um volume de escavação menor, também um custo reduzido, com uma diminuição de transporte de material.

### **1.1 OBJETIVOS**

#### **1.1.1 Objetivo Geral**

Estudar, analisar e comparar com qual dos materiais e em que teores o solo da camada de subleito terá uma alteração nas propriedades físicas e mecânicas do solo para o uso da pavimentação, ao comparar com o solo natural.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- Classificar e analisar as propriedades físicas e mecânicas do solo de subleito;
- Comparar estudo de dosagem, com diferentes teores de aditivo e da cal em laboratório;
- Apresentar estudo comparativo das propriedades físicas e mecânicas, do solo natural com o solo com os aditivos, Cal e OXNIX;
- Elaborar um estudo comparativo de custo e preço unitário (R\$/m<sup>2</sup>, reais por m<sup>2</sup>) entre os diferentes teores de materiais.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA**

#### **2.1.1 Definição de pavimentação**

Segundo Senço (2007), o pavimento é o conjunto de camadas com espessura finitas que estão assentadas sobre o subleito, que exerce função de fundação. Constituído com terraplanagem, tendo função a resistir esforços oriundos do tráfego.

Concordando com o autor acima o manual de pavimentação do DNIT (2006) afirma que, o pavimento de uma rodovia e a superestrutura composta por um sistema de camadas de profundidades finitas, assentes sobre um semi-espaço que na teoria é infinito, a infraestrutura ou terreno de fundação, a qual recebe o nome de subleito.

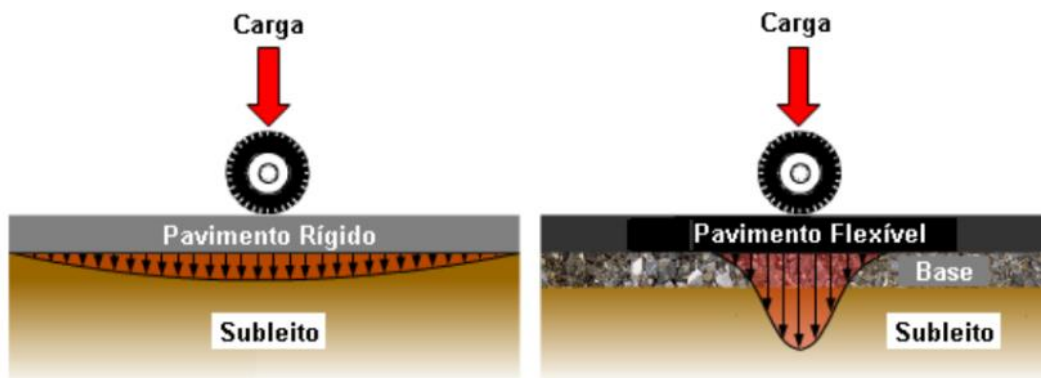
A estrutura de um pavimento e um sistema de camadas sob uma fundação denominada subleito, essas camadas são denominadas de superfície asfáltica (revestimento), camada de base, de sub-base e de reforço do subleito, são constituídos por materiais granulares, geralmente utiliza o reforço de subleito quando o subleito não tem resistência aceitável, visando diluir as camadas de base e sub-base (BERNUCCI, *et. al.* 2008).

#### **2.1.2 Classificação do pavimento**

Os pavimentos rodoviários são classificados em dois tipos básicos, flexíveis e rígidos (BERNUCCI, *et al.* 2008).

Concordando com o autor acima, o Senço (2007) afirma que os pavimentos flexíveis são aqueles em que as deformações, até certo limite, não levam ao rompimento, sendo dimensionado a compressão e a tração na flexão, provocada pelas deformações sob as rodas dos veículos, levando a estrutura a deformar permanentemente, e rompendo por fadiga. Já os pavimentos rígidos são aqueles que pouco deforma, são constituídos principalmente de concreto cimento, geralmente tem o rompimento por tração a flexão, quando estar sujeito a deformações.

**FIGURA 1 - DISTRIBUIÇÃO DE TENSÕES NAS CAMADAS DO PAVIMENTO.**



**Fonte:** Araújo et. Al, 2016.

De acordo com o DNIT (2006) os pavimentos são classificados em flexíveis, semirrígidos e rígidos:

- Flexíveis: todas as camadas sofrem uma deformação elástica significativa sob o carregamento aplicado, a carga se distribui em parcelas nas camadas do pavimento;
- Semirrígidos: tem como característica principal uma base cimentada por algum aglutinante com propriedades cimentícias;
- Rígidos: o revestimento possui uma alta rigidez em relação as camadas inferiores, absorvendo praticamente todas as tensões derivadas do carregamento aplicado.

## 2.2 O SOLO

### 2.2.1 Classificação do solo

Para Pinto (2000), o solo é classificado com a classificação unificada, esse sistema foi elaborado pelo professor Casagrande. Nesse sistema todos os solos são classificados pela junção de duas letras, conforme a imagem, as cinco primeiras letras indicam o tipo do solo e as quatro seguintes são dados complementares do solo.

**FIGURA 2 - TERMINOLOGIA DO SISTEMA UNIFICADO.**

G	pedregulho
S	areia
M	silte
C	argila
O	solo orgânico
W	bem graduado
P	mal graduado
H	alta compressibilidade
L	baixa compressibilidade
Pt	turfas

**Fonte:** Pinto, 2006.

Concordando com o autor, complementa Sousa (2014), a classificação unificada identifica os solos de acordo com suas propriedades de textura e plasticidade, reunindo de acordo com o comportamento de cada um.

**FIGURA 3 - CLASSIFICAÇÃO HIGHWAY RESEARCHBOARD (HRB).**

Classificação Geral	Materiais granulares (35% ou menos passando na peneira nº 200)						Materiais siltosos e argiloso (mais de 35% passando na peneira nº 200)				
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5/A-7-6
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				
Peneiração: % que passa: Nº 10 Nº 40 Nº 200 (p)	50 máx. 30 máx. 15 máx.	50 máx. 25 máx.	51 mín. 10 máx.	35 máx.				36 mín.			
Características da Fração que passa nº 40 Limite de Liquidez - LL (%) Índice de Plasticidade IP (%)	6 máx.		NP	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de Grupo	0			4 máx.			8 máx.	12 máx.	16 máx.	20 máx.	
Materiais que predominam	Pedra Britada pedregulho e areia		Areia fina	Areia e areia silosa ou argilosa				Solos Siltosos		Solos argilosos	
Comportamento geral como subleito	Excelente a bom						Fraco a pobre				

**Fonte:** DNIT, 2006. Adaptada pelo autor

Na pavimentação a outro método bastante utilizado, com denominação de Highway ResearchBoard (HRB). Aqui os solos são organizados em grupos e subgrupos, em função da granulometria, limite de consistência e do índice de grupo, de acordo com a figura 3 (DNIT, 2006).



## 2.2.2 Propriedades físicas e mecânicas dos solos

### 2.2.2.1 Índice de suporte Califórnia (ISC)

O CBR, por tradução índice de suporte Califórnia (ISC), é uma das características mais aceitáveis para avaliar o comportamento de um solo, tanto como fundação de pavimento, como para componente das camadas desse pavimento. Esse índice é definido entre a relação percentual entre a pressão necessária para fazer penetrar um pistão numa amostra de solo, e a pressão para fazer penetrar o pistão a mesma profundidade em uma amostra padrão de pedra britada (SENÇO, 2007).

O ISC conhecido também como CBR, é uma resposta de um ensaio (a norma vigente do ensaio é a NBR 9895), ela combina indiretamente o ângulo de atrito e a coesão do solo, definido entre a relação de uma pressão necessária para produzir penetração de um pistão em um corpo-de-prova e a pressão necessária para produzir a mesma penetração em um material referência (BERNUCCI, *et. al.* 2008).

### 2.2.2.2 Compactação

Com a compactação de uma camada asfáltica de revestimento tem um ganho na estabilização da mistura asfáltica, reduzindo o índice de vazios e aumenta a vida útil do pavimento (BERNUCCI, *et. al.* 2008).

Compreende-se de compactação de um solo a operação de redução de vazios desse solo. A compactação em campo segue o que foi ensaio e obtido em laboratório (SENÇO, 2007).

Pinto (2006), afirma que a compactação aumenta o contato entre os grãos e a homogeneidade do solo, reduzindo o índice de vazios melhorando finitas propriedades do solo. Um processo específico de compactação não depende somente do tipo de obra, porém também do tipo de solo, densidade desejada e da umidade do solo no instante da compactação.

Concordando com o autor acima, Medina e Motta (2004), complementam, se a compactação ocorrer com a umidade baixa, o atrito entre as partículas atrapalham a diminuição dos vazios do solo; uma umidade mais elevada, as partículas tem uma maior facilidade para deslizar sobre si diminuindo o número de vazios; uma umidade muito elevada, a água impede a saída do ar dos vazios,

assim, não tem uma diminuição no índice de vazios. Um aumento da energia aplicada na compactação possibilita, alcançar uma maior densidade.

### 2.2.2.3 Granulometria

A maneira mais simplificada de classificar um solo, levando em consideração que será utilizado na pavimentação, e levar em conta a granulometria desse solo. Essa classificação não atende as características decorrentes do uso do solo para pavimentação, pois não leva em consideração algumas das propriedades fundamentais para tal serviço (SENÇO, 2007).

Segundo o DNIT (2006), o solo é graduado de acordo com sua textura, adotando a seguinte escala granulométrica, com as seguintes frações de solo:

- Pedregulho: é a parte que passa na peneira de (3") e é retida na peneira de 2,00 mm (n° 10);
- Areia: é a parte que passa na peneira de 2,00 mm e é retida na peneira de 0,075 mm (n° 200);
- Areia grossa: é a fração compreendida entre as peneiras de n° 10 e n° 40 (0,42 mm);
- Areia fina: é a fração compreendida entre as peneiras de n° 40 e n° 200;
- Silte: é a fração com tamanho de grãos entre as peneiras de 0,075 mm e 0,005 mm;
- Argila: é a fração com tamanho de grãos abaixo de 0,005 mm.

A granulometria não depende das outras propriedades do solo, focando nesse estudo apenas o tamanho das partículas e a distribuição do tamanho em massa de solo em porcentagem (DNIT, 2006).

A composição granulométrica permite conhecer a porcentagem das partículas constituintes em função do seu tamanho. A graduação pode ser considerada a propriedade mais importante de um solo, ela afeta quase todas as propriedades importantes, estabilidade, durabilidade, permeabilidade e trabalhabilidade (SENÇO, 2007).

## 2.3 ESTABILIZAÇÃO DE SOLO PARA PAVIMENTAÇÃO

### 2.3.1 Definição

A estabilização de solo é uma prática milenar, no princípio era de forma rudimentar e foi aprimorada com o tempo. Resume-se como um processo realizado para estabilizar e aumentar as propriedades do solo, tornando-o útil para determinado uso (LAUFER, 1967).

De acordo com SENÇO (2006), estabilização de um solo consiste em dar condições dele resistir a deformações e ruptura durante o período que esteja exercendo sua função, ainda sobressalta o autor, que as principais características de um solo estabilizado é ter resistência a deformação e a ao cisalhamento, assim quando for solicitado resista sem ser rompido.

Chama-se estabilização de solos o processo pelo qual se confere ao solo uma maior resistência estável às cargas ou desgaste ou à erosão, por meio de compactação, correção de sua granulometria e de sua plasticidade ou de adição de substâncias que lhe confirmam uma coesão proveniente da cimentação ou da aglutinação dos seus grãos. (VARGAS, 1977, p.93)

### 2.3.2 Classificação

Para Medina e Mota (2004), existem 3 tipos principais de estabilização de solo para a pavimentação, sendo elas:

- Estabilização mecânica: essa técnica é aplicada geralmente em conjunto com outras técnicas, quase sempre sendo necessário a compactação do solo. Ela assegura uma estabilização sem adição de aditivos, as características do solo sendo melhoradas por compactação e/ou drenagem;
- Estabilização granular: é utilizado diferentes solos, misturando-os, com o intuito de corrigir a curva granulométrica do solo;
- Estabilização química: essa técnica se obtém uma estabilização por meio de reações químicas como as cimentantes pozolânicas, aglomeração e carbonatação.

Como se tem uma grande variedade de tipos de solo, nenhum dos métodos se aplica genericamente a todos os solos, tendo um método mais

adequado para cada tipo de solo. A estabilização não deve ser pensada somente como método corretivo do solo, mas também como medida de segurança ou preventiva contra as condições que se depara a estrutura ao longo do tempo (INGLES e METCALF,1972).

### **2.3.3 Estabilização química com o Oxnix®**

De acordo com o fabricante, COPRA INDÚSTRIA COMERCIO E SERVIÇO LTDA, Oxnix é um aditivo químico de origem orgânica que impermeabiliza o solo, dando estabilidade e capacidade de suportar o tráfego. Atuando sobre as partículas finas do solo, Oxnix aumenta sua capacidade de suporte para absorver cargas do tráfego, reduz sua expansão e sucção, dispensando a pedra e outros agregados no processo de pavimentação.

O fabricante ainda ressalta que essas características, aliadas à facilidade de aplicação e ao baixo custo, fazem do Oxnix o estabilizante de solos ideal para base, sub-base e reforço de subleito de rodovias. Oxnix é um composto organometálico alcalino derivado de hidrocarboneto saturado de cadeia média, apresentado na forma de pó, solúvel em água e de caráter não iônico. Um saco de Oxnix com peso de 20 kg rende até 500m<sup>2</sup> de aplicação.

Usando uma porcentagem de 3% do estabilizante Oxnix, não se obteve um resultado de estabilização desejada, pois mesmo que o solo utilizado mostrou ter argila pelo ensaio de granulometria esse ter e abaixo do recomendado pelo fabricante que seria por volta de 30% (PINHEIRO, 2019).

**TABELA 1 - RESULTADO DO ENSAIO DE PENETRAÇÃO PARA O SOLO NATURAL.**

ENSAIO DE LABORATÓRIO - PENETRAÇÃO						
Moldagem: Natural		Solo Natural - E		Peso: 9.665 kg		
Tempo (min)	Penetração (mm)	Leitura (µm)	Leitura (mm)	Carga (kgf)	Carga (N)	Pressão (mPa)
0,50	0,63	70,00	0,07000	6,80	66,90	126,69
1,00	1,27	132,00	0,13200	12,90	126,10	238,91
1,50	1,90	165,00	0,16500	16,10	157,70	298,63
2,00	2,54	187,00	0,18700	18,20	178,70	338,45
2,50	3,17	208,00	0,20800	20,30	198,80	376,46
3,00	3,81	224,00	0,22400	21,80	214,10	405,42
3,50	4,44	239,00	0,23900	23,30	228,40	432,57
4,00	5,08	250,00	0,25000	24,40	238,90	452,48
5,00	6,35	271,00	0,27100	26,40	259,00	490,48
6,00	7,62	291,00	0,29100	28,40	278,10	526,68
7,00	8,89	303,00	0,30300	29,50	289,60	548,40
8,00	10,16	321,00	0,32100	31,30	306,80	580,98
9,00	11,43	245,00	0,24500	23,90	234,10	443,43
10,00	12,70	342,00	0,34200	33,30	326,80	618,99

Constante prensa: 97,45 kgf/cm<sup>2</sup>

**Fonte:** Pinheiro, 2019.

**TABELA 2 - RESULTADO DO ENSAIO DE PENETRAÇÃO DO SOLO COM ADITIVO OXNIX + CAL.**

Moldagem: Oxnix 1:1000 + Cal 3%		Solo Oxnix + Cal		Peso: 9.620 kg		
Tempo (min)	Penetração (mm)	Leitura (µm)	Leitura (mm)	Carga (kgf)	Carga (N)	Pressão (mPa)
0,50	0,63	32,00	0,03200	3,10	30,60	57,92
1,00	1,27	68,00	0,06800	6,60	65,00	123,07
1,50	1,90	110,00	0,11000	10,70	105,10	199,09
2,00	2,54	145,00	0,14500	14,10	138,60	262,44
2,50	3,17	172,00	0,17300	16,80	164,40	311,30
3,00	3,81	195,00	0,19500	19,00	186,40	352,93
3,50	4,44	215,00	0,21500	21,00	205,50	389,13
4,00	5,08	238,00	0,23800	23,20	227,40	430,76
5,00	6,35	270,00	0,27000	26,30	258,00	488,67
6,00	7,62	300,00	0,30000	29,20	286,70	542,97
7,00	8,89	328,00	0,32800	32,00	313,50	593,65
8,00	10,16	350,00	0,35000	34,10	334,50	633,47
9,00	11,43	372,00	0,37000	36,30	355,50	673,28
10,00	12,70	390,00	0,39000	38,00	372,70	705,86

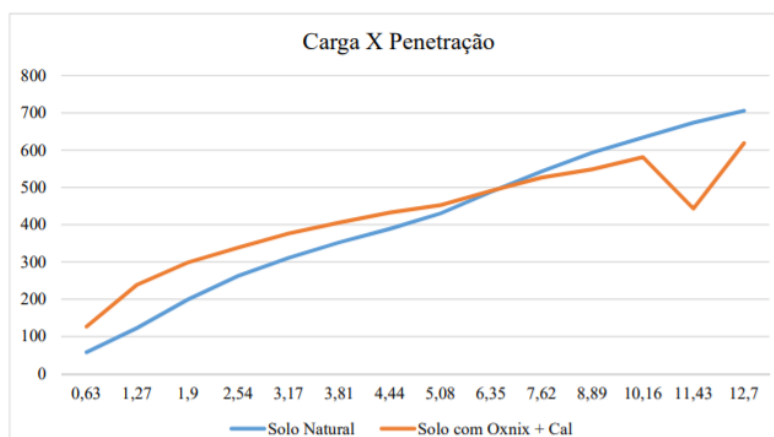
Constante prensa: 97,45 kgf/cm<sup>2</sup>

**Fonte:** Pinheiro, 2019.

**TABELA 3 - RESULTADO DO ENSAIO DE ISC.**

Ensaio de Laboratório - Cálculo de Índice suporte Califórnia ISC								
Resultado após Expansão e Penetração								
Penetração (mm)	Solo Natural				Solo Oxnix + Cal			
	Pressão (mPa)			ISC (%)	Pressão (mPa)			ISC (%)
	Calculada	Corrigida	Padrão		Calculada	Corrigida	Padrão	
2,54	338,5	xxx	6,9	49,05	262,44	xxx	6,9	38,03
5,08	452,48	xxx	10,35	43,72	430,76	xxx	10,35	41,62
<b>Expansão 96 hrs</b>	<b>0,05</b>				<b>0,26</b>			
<b>Perda de massa</b>	<b>-0,21%</b>				<b>-0,10%</b>			
Data	06/12/2018				06/12/2018			
<b>RESULTADO ISC</b>	<b>49</b>				<b>42</b>			

**Fonte:** Pinheiro, 2019.

**GRÁFICO 1 - GRÁFICO DO RESULTADO DE ISC**

**Fonte:** Pinheiro, 2019.

Pinheiro (2019), ainda ressalta que os resultados obtidos não eram os esperados, mas com esses resultados se constatou que o solo não possui um índice de argila suficiente para a estabilização do solo, e recomenda a adição de outro solo com teor de argila mais alta para que ocorra uma melhora na estabilização.

#### 2.3.4 Estabilização química com cal

Quando a cal é utilizada para a estabilização de solo para a pavimentação, ela afeta de forma a melhorar algumas características dos solos, tais como, granulometria, plasticidade, contração e retração, trabalhabilidade, compactação e resistência (GUIMARÃES, 2002).

Corrêa, Marcon e Triches (2009), afirmam que a cal adicionada a alguns tipos de solo é capaz de produzir reações que responsabilizam por finitas melhorias nas suas características, assim permitindo a utilização em subleitos, sub-base e até mesmo de base de pavimento rodoviário. Tornando uma alternativa de custo baixo, a utilização desse método para estabilização de solos finos. Pavimento com custo baixo e aquele que procura otimizar a utilização dos materiais locais.

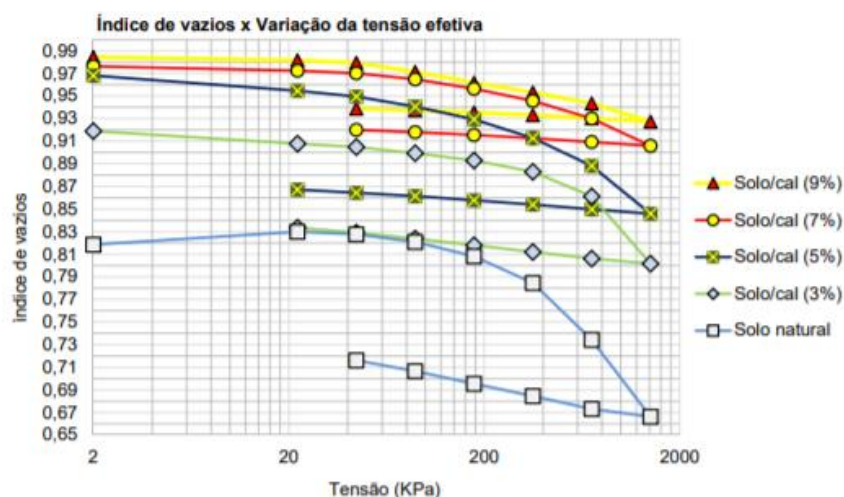
O estudo de Bertazo (2018), concluiu que a adição de 9% de cal possui melhores resultados na estabilização arenoso na região de Guabirota, anulando sua expansão, uma redução dos recalques nas fases de compressão e descompressão, mas sem alteração na velocidade do adensamento.

**TABELA 4 - COMPARAÇÃO DOS DESLOCAMENTOS VERTICAIS DAS MISTURAS EM RELAÇÃO AO SOLO NATURAL.**

Tensão (KPa)	Deslocamento vertical relativo ao solo natural (%)			
	Teor de cal (%)			
	3%	5%	7%	9%
22,15	-195,67%	-214,72%	-133,77%	-125,11%
44,30	-221,28%	-310,64%	-193,62%	-197,87%
88,60	-22,06%	25,00%	-22,79%	13,97%
177,20	-51,19%	-15,87%	-35,71%	-25,40%
354,40	-60,40%	-33,85%	-57,96%	-63,94%
708,80	-55,69%	-51,79%	-69,75%	-79,80%
1417,60	-7,52%	-35,96%	-60,37%	-73,12%

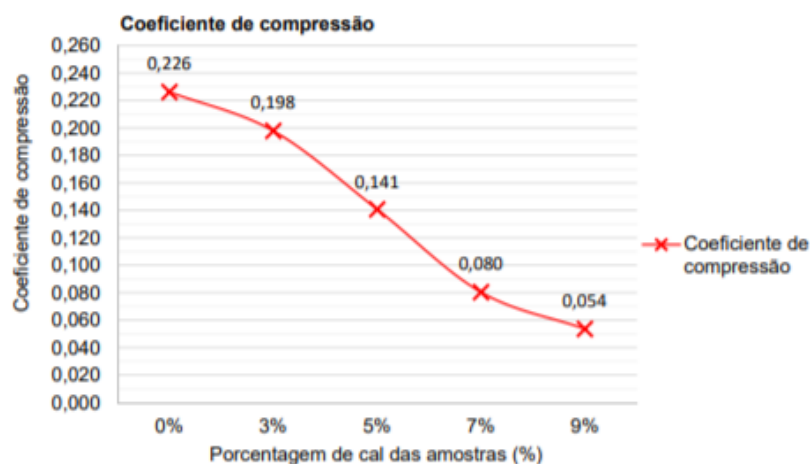
Fonte: Bertazo ,2018.

**GRÁFICO 2 - COMPARATIVO DAS CURVAS DE ÍNDICE DE VAZIOS PELA TENSÃO EFETIVA.**

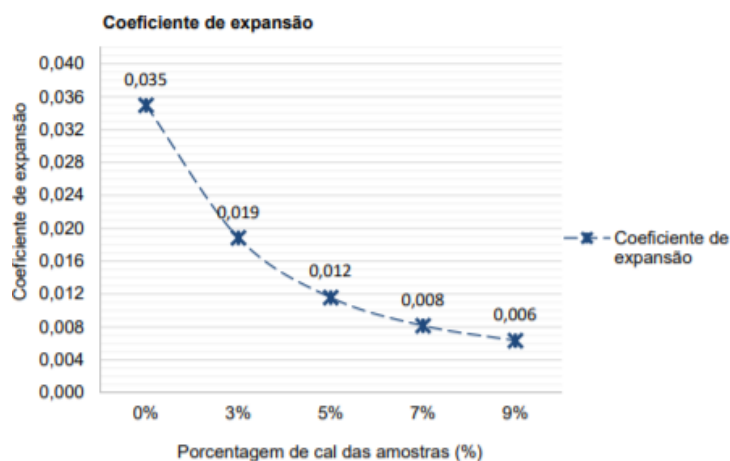


Fonte: Bertazo ,2018.

**GRÁFICO 3 - COEFICIENTES DE COMPRESSÃO ( $C_c$ ).**



Fonte: Bertazo ,2018.

**GRÁFICO 4 - COEFICIENTES DE EXPANSÃO (Cs).**

**Fonte:** Bertazo ,2018.

De acordo com Bertazo (2018), a expansão da amostra ocorre devido aos 2 carregamentos iniciais, com cerca de 1,39% da altura inicial. Ressalta que pequenas porcentagens de cal redizem os efeitos de expansão. Os coeficientes de adensamento mostraram uma baixa influencia na adição de cal hidratada no Cv. Já os parâmetros de compresso (Cc) e expansão (Cs) tiveram acentuada redução, reduziram com o aumento de cal nas amostras. Assim conclui-se que a cal hidratada pode ser utilizada como estabilizante, e que uma adição de 9% de cal hidrata tem-se os melhores resultados.

## 2.4 ORÇAMENTO

O orçamento é uma parte do projeto que estima e estimula custos de despesas e resultados para atender as necessidades, características e objetivos da empresa (LUNKES, 2007).

A elaboração de um orçamento deve ser feita estudos preliminares, estabelecendo o plano de execução da obra. O modo como a obra é executada influencia diretamente no custo total dela, por isso o orçamento, o planejamento e o projeto devem ser desenvolvidos juntos (DNIT, 2008).

### 2.4.1 Composição de preço unitário

Para DNIT (2008), o preço unitário é obtido através do somatório dos custos de materiais, mão-de-obra, equipamentos para realizar um serviço. Para realizar a composição de preço unitário deve-se seguir as especificações de projeto.



Concordando com o autor acima, Dias (2011), afirma que o custo unitário e a soma das despesas efetuadas e calculadas para desenvolver um determinado serviço, distribuída pelos diferentes elementos constituintes, por unidade de produção, seguindo todas as especificações e orientações estabelecidas no projeto e planejamento.

Para a elaboração de uma composição de preço unitário e necessário ter todo o detalhamento do serviço, o que tem que ser feito, quanto tem que ser feito, qual o tempo para ser realizado. Também deve-se saber qual a tecnologia aplicada no serviço, sabendo quais são os equipamentos disponíveis para tal serviço, e quantidade de mão-de-obra que será necessária e poderá ser usada (MARTINS, 2016).

#### **2.4.2 Quantitativo**

O orçamentista com os projetos e especificações da obra deve fazer o levantamento de quantidades de materiais a ser utilizado na obra e definindo os serviços a serem executados. Com esse conhecimento o profissional tem condições de estabelecer o custo unitário para o orçamento (DIAS, 2011).

Mattos (2006), completa ainda que o levantamento de quantitativo e baseado em cálculos baseados nas dimensões precisas fornecidas pelo projeto, ou alguma estimativa. Para cada levantamento quantitativo e indicado deixar um memorial de cálculo, assim as contas podem ser conferidas posteriormente.

#### **2.4.3 Comparativo de custo**

Segundo Tavares *et al.* (2005), para se ter um comparativo de custo, tem que se conhecer o orçamento ou o custo previsto de tal obra ou estudo. Complementa ainda que se deve fazer uma análise geral do orçamento.

DNIT (2006), confirma que os estudos comparativos têm fim de estabelecer o processo que ser mais viável, tanto na implantação, manutenção e entre outro.

Fazendo-se o comparativo somente de uma fase do projeto de pavimentação se tem um resultado sobre aquela etapa, e não uma visão geral de todo projeto (TAVARES, *et. al.* 2005). Logo para um comparativo de estabilização de subleito todos os materiais de revestimento, de base e de sub-base tem que ser da mesma jazida e com mesmas características. O

comparativo de custo desse trabalho ficara na parte de transporte do material de jazida para as camadas de pavimentação.

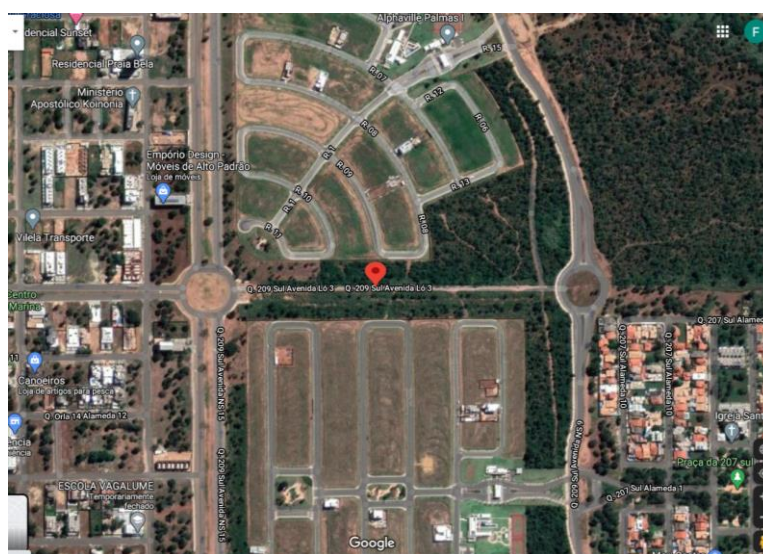
### 3 METODOLOGIA

A metodologia aplicada no trabalho tem caráter quantitativo e qualitativo e consistiu na seleção dos materiais, coleta do solo, ensaios de caracterização, definição das dosagens de cal e do aditivo Oxnix, ensaio do solo com seus aditivos químicos, interpretação e análise dos resultados obtidos.

#### 3.1 LOCAL DA COLETA E LOCAL DOS ENSAIOS

Será utilizado dois materiais para a estabilização química de um solo arenoso, cal e Oxnix. O solo a ser estabilizado será coletado na região sul de Palmas – Tocantins, na Avenida Lo 3, entre os condomínios Alpha Ville 1 e 2. Com coordenadas, latitude  $10^{\circ}11'31,9''$  S e longitude  $48^{\circ}21'26,3''$  W, esse local foi escolhido pois o solo apresenta as características necessárias para o trabalho. Os ensaios serão realizados no laboratório de solos do CEULP/ULBRA.

**FIGURA 4 - LOCALIZAÇÃO DO LOCAL DE COLETA DO SOLO.**



**Fonte:** Google Maps, 2020.

#### 3.2 COLETA DA AMOSTRA

A amostra foi coletada na cidade de Palmas – Tocantins, na localizada entre os condomínios Alpha Ville 1 e 2, na Avenida Lo 3. a coleta foi realizada seguindo a norma DNER-PRO 003/94.

No local indicado na figura 04, foi limpo uma área e foi realizado a escavação para coleta do material para se realizado os ensaios em laboratório. Sendo coletado cerca de 160 kg do solo e levado para laboratório.

Em laboratório as amostras foram preparadas de acordo com a norma DNER-ME 041/94, aonde se faz o peneiramento do material com a peneira de 4,8 mm, e separando cerca de 7 kg do material e guardando-o para os ensaios de compactação e 2 kg para ensaio de caracterização do solo.

### 3.3 METODOLOGIA PARA DOSAGEM DAS MISTURAS

A dosagem de cal de cal será nos teores de 2%, 4%, 6%, 8% e 10%, substituição em massa do solo. Essa definição foi tomada baseando-se no trabalho de Bertazo, 2008, estudo do adensamento de um solo da formação Guabirota estabilizado com cal hidratada, aonde a proposta do seu trabalho foi utilizar os teores de 3, 5, 7 e 9%.

Já a dosagem do estabilizante Oxnix será nos teores de 1%, 2%, 3%, 4% e 5%, será diluído em água, e substituindo uma parcela da água total que deve ser adicionada ao solo, adicionados ao solo natural junto com 60g de Cal recomendados pelo fabricante. Essa definição foi tomada baseando-se no trabalho de Pinheiro, 2019, uso de estabilizante químico de solo: estudo de caso em residencial em Macapá, aonde a proposta do seu trabalho foi utilizar os teores de 3%.

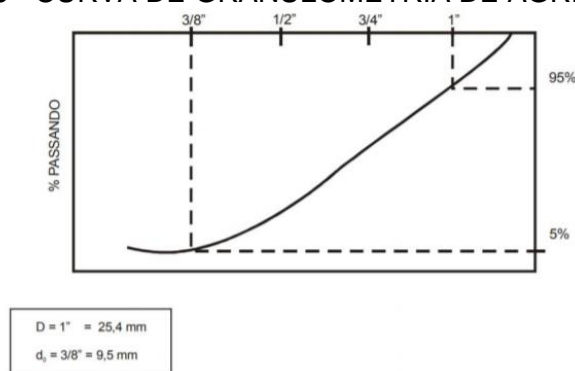
### 3.4 ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO

Os ensaios de caracterização física e mecânica do foram realizados de acordo com os procedimentos exigidos pelas normas do Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte (DNIT-DNER) correspondentes a cada ensaio. Foram realizados ensaios de Análise Granulométrica, Limite de Liquidez e Limite de Plasticidade e o sistema adotado para classificação será o sistema unificado.

#### 3.4.1 Análise granulométrica

Este procedimento se deu seguindo a norma DNER-ME 051/94, aonde prescreve o método para a análise granulométrica de solos, realizada por peneiramento ou por uma combinação de sedimentação e peneiramento.

O ensaio de granulometria, é um ensaio utilizado para a determinação do percentual em peso e retido em peneiras com aberturas diferentes. Com os resultados obtidos nesse ensaio é possível elaborar a curva granulométrica (figura 5).

**FIGURA 5 - CURVA DE GRANULOMETRIA DE AGREGADOS.**

**Fonte:** DNIT, 2006. Adaptada pelo autor.

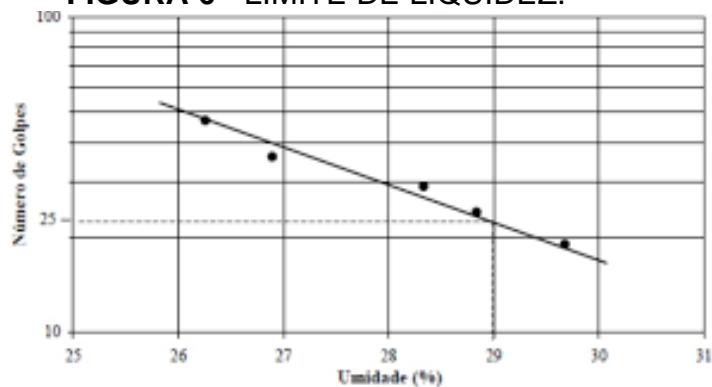
Para a realização do ensaio foi utilizado 1kg de solo, faz-se a lavagem do material na peneira de malha 0,075 mm (Nº 200), e depois esse material é levado a estufa por 24 horas é pesado novamente assim sabendo o teor de argila do solo, após é realizado o peneiramento nas peneiras de malhas de 4,8; 2,09; 0,42; 0,15; 0,075 mm. Os pesos retidos em cada peneira são anotados e depois a elaboração da curva granulométrica.

### 3.4.2 Limite de liquidez

O ensaio foi realizado com a norma DNER-ME 122/94, aonde prescreve os métodos para determinar o limite de liquidez de solos, e posteriormente indicar o Índice de Atterberg.

O Limite de Liquidez e o teor de umidade do solo com o qual se unem, em um centímetro de comprimento, as bordas inferiores de uma canelura feita em uma massa de solo colocada na concha do aparelho Casagrande, sob a ação de 25 golpes da concha sobre a base do aparelho. O limite de liquidez marca a transição do estado plástico ao estado líquido, expresso em percentagem e representado por LL.

Com os resultados se realiza a curva de fluidez, e uma curva resultante da representação gráfica da relação dos teores de umidade, marcados em abscissas, com os números de golpes correspondentes, marcados em ordenadas. Emprega-se em abscissas uma escala aritmética e em ordenadas uma escala logarítmica. Utilizando-se esta representação, obtém-se uma reta, conforme figura 6.

**FIGURA 6 - LIMITE DE LIQUIDEZ.**

Fonte: Google imagens.

### 3.4.3 Limite de plasticidade

O ensaio foi realizado com a norma DNER-ME 082/94, aonde prescreve os métodos para determinar o limite de plasticidade de solos, e posteriormente indicar o Índice de Atterberg.

O Limite de Plasticidade e o teor de umidade em que o solo deixa de ser plástico, tornando-se quebradiço, é a umidade de transição entre os estados plástico e semissólido do solo. O ensaio deste limite regulamenta o cálculo do teor de umidade para o qual o solo começa a se quebrar quando se tenta moldar uma forma cilíndrica de 3 mm. representado por LP.

### 3.4.4 Índice de plasticidade

Com os valores obtidos nos ensaios de Limite de Liquidez e Limite de Plasticidade, é possível obter-se o Índice de Plasticidade (IP), qual classifica a amostra de solo. Segundo a NBR 7180/88 para calcular o IP utiliza-se da fórmula a baixo:

$$IP = LL - LP$$

A seguir são apresentados alguns intervalos do IP, que de acordo com Jenkins apud Caputo (1974), classificam o solo quanto a sua plasticidade:

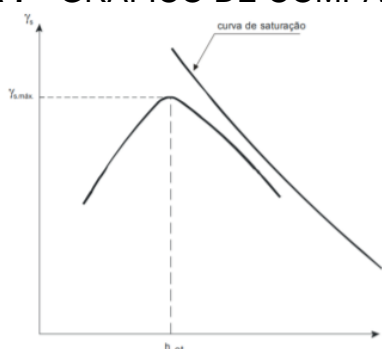
- IP = 0; não plástico;
- 1 < IP < 7; pouco plástico;
- 7 < IP < 15; plasticidade média;
- IP > 15; muito plástico.

### 3.4.5 Compactação

O ensaio foi realizado com a norma do DNIT 164/2013 – ME, esta norma fixa um método de determinação da correlação entre o teor de umidade de solo e sua massa específica aparente seca, quando a fração de solo que passa na peneira de 19 mm é compactada nas energias normal, intermediária e modificada, utilizando amostras não trabalhadas, sendo que neste trabalho a energia de compactação utilizada foi a intermediária.

O resultado é obtido através de uma curva. A curva de compactação deve ser desenhada marcando-se, em ordenadas, as massas específicas aparentes do solo seco ( $\gamma_s$ ) e, em abscissas, os teores de umidade correspondentes (h).

**FIGURA 7 - GRÁFICO DE COMPACTAÇÃO.**



**Fonte:** DNIT, 2006. Adaptada pelo autor.

O ensaio de compactação foi realizado na energia de compactação intermediária em cilindro grande e com reutilização do material. Para execução do ensaio, foi separada uma amostra de cerca de 7 kg de solo em estado natural, seco ao ar e passante na peneira 4,8 mm.

O ensaio de compactação é realizado para obtenção da umidade ótima necessária para realização do ensaio de ISC, segundo as recomendações da ABNT. Para fazer o ensaio, precisa-se do solo na umidade ótima. Como não é possível obter este resultado de imediato, adota-se uma umidade 5% abaixo da umidade presumível, que segundo a norma é muito próxima da umidade dada pelo IP.

Nos seguintes procedimentos, os teores de umidade e a umidade anterior é somado em 2%. Dessa forma, o solo é misturado com a água necessária para que atinja a umidade ótima, neste caso, foram feitos 5 corpos de prova, utilizando de 8 a 16% de água, até que se torne homogêneo. A compactação é realizada

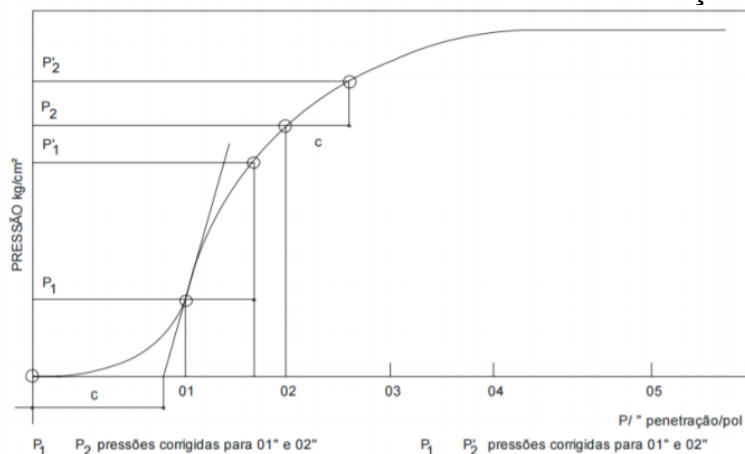
com 26 golpes de soquete grande com massa de 4,536 kg, caindo de uma altura de 45,7 cm, a cada camada de solo que é acrescentada no cilindro.

Depois que se tem a compactação da amostra no cilindro, é retirado o cilindro complementar e feita a regularização da superfície com o auxílio de uma régua, após, pesa-se o cilindro com o solo. Com os valores de peso específico seco e umidade, obtidos no ensaio, em seguida, traça-se a curva de compactação, da qual determina-se o peso específico seco máximo e a umidade ótima.

### 3.4.6 Índice de suporte Califórnia (CBR)

A norma a ser utilizada é a DNIT 172/2016 – ME, o ensaio consiste na determinação da curva (figura 8), o ensaio consiste em determinar uma relação entre a pressão de penetração do pistão no solo estudado e a mesma pressão uma penetração em uma brita padronizada. O resultado é expresso em percentual e por uma equação empírica que determina a espessura do pavimento flexível que será necessário em função do tráfego

**FIGURA 8 - CURVA DE PRESSÃO - PENETRAÇÃO.**



**Fonte:** DNIT, 2006. Adaptada pelo autor.

Através do ensaio de CBR é possível conhecer qual será a expansão de um solo sob um pavimento quando este estiver saturado, e fornece indicações da perda de resistência do solo com a saturação.

### 3.4.7 Expansão

O ensaio de expansão é realizado nos corpos de prova moldados para o ensaio de Índice de Suporte Califórnia, e também seguindo a mesma norma



DNIT 172/2016 – ME, o Método do DNIT para dimensionamento de pavimentos flexíveis determina limites para os valores de expansão dos solos em cada camada.

#### 3.4.8 Massa específica

O ensaio de massa específica foi realizado com apoio da norma DNER – ME 194/98, determinando a massa específica com o frasco Chapman.

Para o ensaio é necessário, colocar 200 cm<sup>3</sup> de água no frasco Chapman e após adiciona 500 g de solo, agitando aos poucos para saída de possíveis bolhas, o nível atingido pela água no frasco e o volume, em cm<sup>3</sup>, ocupado por água e agregado. E o resultado é obtido pela fórmula:

$$\gamma = \frac{500}{L - 200}$$

#### 3.4.9 Massa unitária

O ensaio de massa unitária foi realizado com a norma NBR NM 45/2006. Massa unitária é a relação entre a massa do agregado lançado de uma altura de 5 cm do recipiente de acordo com o estabelecido na norma e o volume desse recipiente.

O ensaio é realizado enchendo o recipiente com o auxílio de uma concha, o agregado é lançado de uma altura de 5 cm, a superfície do recipiente é alisada com o auxílio de uma régua metálica, o recipiente é pesado com o material nele, a massa do agregado e a diferença entre a massa do recipiente cheio com a massa do recipiente vazio. O valor da massa unitária é calculado pela fórmula:

$$Pap = \frac{Mar - Mr}{V}$$

Onde:

Pap: massa unitária, em Kg/m<sup>3</sup>;

Mar: massa do agregado mais o recipiente, em Kg;

Mr: massa do recipiente, em Kg;

V: volume do recipiente, em m<sup>3</sup>.

### 3.5 MISTURA DO SOLO COM OS ADITIVO

#### 3.5.1 Cal

A cal foi adicionada nos teores já indicados anteriormente (2, 4, 6, 8 e 10%), aonde essa porcentagem está ligada ao peso da amostra. Exemplo, no teor de 2% e uma amostra de 7 kg foi adicionado 140 g de cal.

#### 3.5.2 Oxnix

O procedimento de mistura do aditivo Oxnix com o solo foi realizado de acordo com o fabricante. a solução do Oxnix, foi realizado diluindo 30 g do aditivo em 1 litro de água, tendo uma solução a 3%.

Na amostra para realização do ensaio de compactação e adicionado 60 g de cal e 100 ml da solução realizada anteriormente e completa com o restante de água para atingir a umidade ótima.

### 3.6 CALCULO DAS CAMADAS DA PAVIMENTAÇÃO

O cálculo da espessura das camadas do pavimento será feito pelo método do DNER que é baseado na experiencia da USACE.

Esse método segue um passo a passo, sendo ele:

1º passo: Determinar o tipo de revestimento, em função do número N, e adotar a espessura;

- O número N e determinado pela formula:

$$N = 365 * VMD * P * FV$$

Onde:

VMD: volume médio diário;

P: período de projeto (anos);

FV: fator de veículo;

- Para o cálculo do VMD utiliza-se a formula:

$$VMD = \frac{VMD_1 * (2 + (P - 1) * \frac{t}{100})}{2}$$

Onde:

VMD: volume médio diário considerando que o trafego cresce segundo uma PA t% ao ano;

$VMD_1$ : volume de trafego no ano de abertura da via;

P: período de projeto em anos;

t: taxa de crescimento anual em porcentagem.

- Para o cálculo do FV segue a formula:

$$FV = FC * FE$$

Onde:

FC: fator de carga;

FE: fator de eixo.

- O FC (fator de carga) e calculado seguindo a tabela a baixo:

**TABELA 5 - TABELA PARA DETERMINAR O FATOR DE CARGA (FC).**

1	2			3	4	5	6
Ordem	Eixo simples			Fci	Frequencia absoluta (Fi)	Frequencia relativa (fi)	Fci x fi
	ES	ED	ET				

Onde:

1 – Sequência do veículo e eixo que passa na via;

2 – Carga do eixo em tf, observando o tipo de eixo, ES: eixo simples; ED: eixo duplo; ET: eixo triplo;

3 – Equação da formula do FC, tabela 6;

4 – Quantidade de vezes que o eixo passou na via;

5 – Fi do eixo / Fi total;

6 – FC: somatório do Fci \* Fi de todos os eixos;

**TABELA 6 - FATORES DE EQUIVALÊNCIA DE CARGA DO USCE.**

Tipos de Eixo	Faixas de carga (tf)	Equações (P em tf)
Dianteiro simples e traseiro simples	0 – 8	$FC = 2,0782.10^{-4}.P^{4,0175}$
	$\geq 8$	$FC = 1,8320.10^{-6}.P^{6,2542}$
Tandem duplo	0 – 11	$FC = 1,5920.10^{-4}.P^{3,472}$
	$\geq 11$	$FC = 1,528.10^{-6}.P^{5,484}$
Tandem triplo	0 – 18	$FC = 8,0359.10^{-5}.P^{3,3549}$
	$\geq 18$	$FC = 1,3229.10^{-7}.P^{5,5789}$

**Fonte:** DNIT, 2006. Adaptada pelo autor.

- O FE (fator de eixo) e calculado pela formula a baixo:

$$FE = \frac{(FE_A * \text{passagens de A}) + (FE_B * \text{passagens de B}) + (FE_C * \text{passagens de C})}{(\text{passagens A} + \text{passagens B} + \text{passagens C})}$$

De acordo com o número N calculado observas as tabelas 7 e 8, e definir o CBR e o tipo de revestimento.

**TABELA 7 - ESCOLHA DO MATERIAL DE BASE.**

Número "N"	CBR (%)
$N \leq 10^6$	CBR $\geq 60$
$N > 10^6$	CBR $\geq 80$

**Fonte:** DNIT, 2006. Adaptada pelo autor.

**TABELA 8 - ESPESSURA E TIPO DE REVESTIMENTO.**

Número "N"	Espessura Mínima de Revestimento Betuminoso
$N \leq 10^6$	Tratamento superficial betuminoso
$10^6 < N \leq 5.10^6$	Revestimento betuminoso com 5,0cm de espessura
$5.10^6 < N \leq 10^7$	Concreto betuminoso com 7,5cm de espessura
$10^7 < N \leq 5.10^7$	Concreto betuminoso com 10,0cm de espessura
$N > 5.10^7$	Concreto betuminoso com 12,5cm de espessura

**Fonte:** DNIT, 2006. Adaptada pelo autor.

2º passo: determinar a espessura da camada de revestimento + Base (H20), considerando o CBR da camada inferior, ou seja, a camada que a base está apoiada, utilizando a seguinte formula:

$$Ht = 77,67 \cdot N^{0,0482} \cdot CBR^{-0,598}$$

Aonde:

Ht: altura total (H20, Hn e Hm);

N: número N da rodovia;

CBR: será considerado o CBR da camada inferior, camada de apoio.

3º passo: sabendo a espessura do revestimento, determinar a espessura da base, utilizando a formula.

$$R \cdot Kr + B \cdot Kb \geq H20$$

Onde:

R: espessura do revestimento;

Kr: coeficiente do revestimento;

B: espessura da base;

Kb: coeficiente do material de base;

H20: altura da base mais o revestimento.

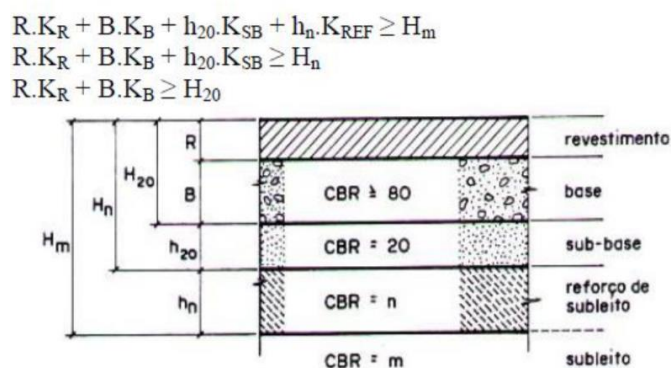
Observando que para tratamento superficial a espessura do pavimento é zero.

**TABELA 9 – COEFICIENTE DE EQUIVALÊNCIA ESTRUTURAL.**

Componentes do pavimento	Coefficiente K
Base ou revestimento de concreto betuminoso	2
Base ou revestimento pré-misturado a frio, de graduação densa	1,7
Base ou revestimento pré-misturado a frio, de graduação densa	1,4
Base ou revestimento betuminoso por penetração	1,2
Camadas granulométricas	1
Solo cimento com resistência a compressão a 7 dias, superior a 45kg/cm <sup>2</sup>	1,7
Idem, com resistência a compressão a 7 dias, entre 45 kg/cm <sup>2</sup> e 28 kg/cm <sup>2</sup>	1,4
Idem, com resistência a compressão a 7 dias, entre 28 kg/cm <sup>2</sup> e 21 kg/cm <sup>2</sup>	1,2

**Fonte:** DNIT, 2006. Adaptada pelo autor.

**FIGURA 9 - REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DA SEÇÃO DO PAVIMENTO.**



**Fonte:** DNIT, 2006. Adaptada pelo autor.

Utilizando as formulas, sabendo a espessura do revestimento e da base, dimensionar as outras camadas em ordem decrescente.

4° passo: cálculo do Hn;

5° passo: cálculo do h20;

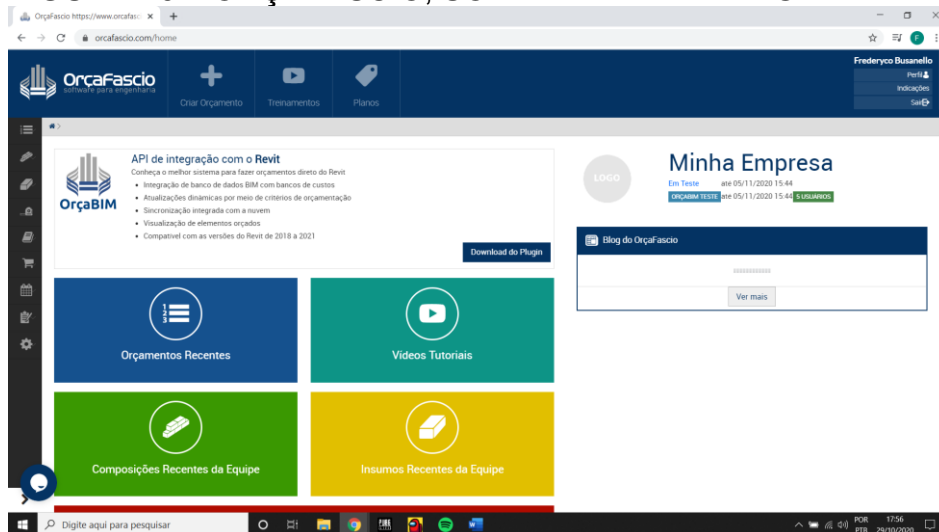
6° passo: cálculo do Hm;

7° passo cálculo do hn.

### 3.7 ORÇAMENTO

Após a realização do cálculo da espessura das camadas do pavimento, será realizado um orçamento com auxílio do software para engenharia Orçafascio figura 10. Realizara um orçamento somente da parte de terraplanagem, visto que o restante do projeto permanecera o mesmo, independentemente dos teores de aditivos ou solo natural, com única diferença na movimentação de terra.

**FIGURA 10 – ORÇAFASCIO, SOFTWARE PARA ENGENHARIA.**



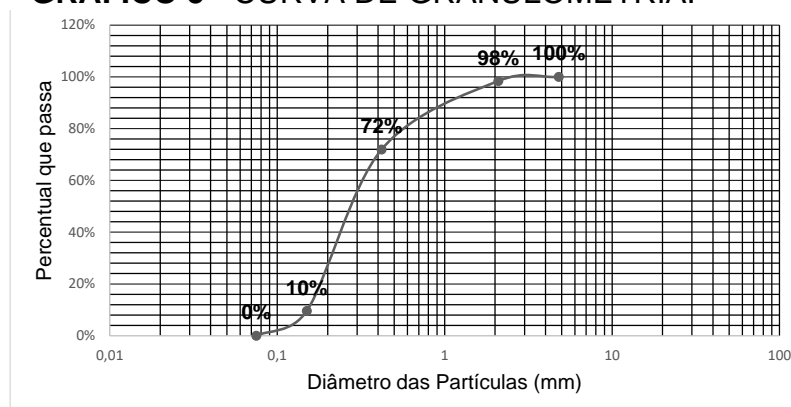
Após a realização do orçamento será realizado o preço unitário, que é um cálculo de valor por metro quadrado desses orçamentos.

## 4 RESULTADOS

### 4.1 RESULTADOS DO ENSAIO DE GRANULOMETRIA E ÍNDICE DE PLASTICIDADE

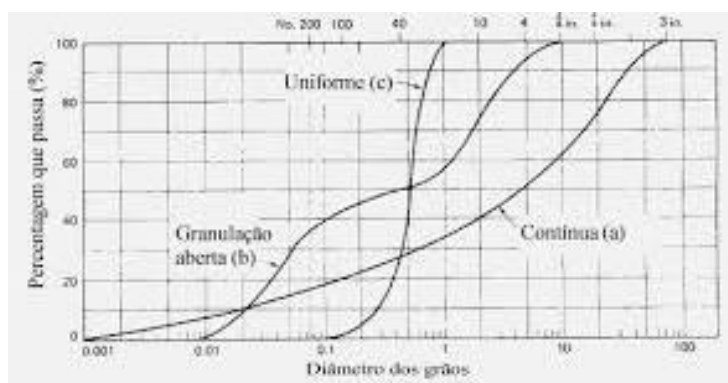
Como descrito no tópico acima, o ensaio foi submetido as peneiras segundo a norma DNER-ME 051/94, e suas porcentagens estão descritas conforme o gráfico 5:

**GRÁFICO 5 - CURVA DE GRANULOMETRIA.**



O solo estudado foi classificado, conforme o gráfico 5 e figura 11, sendo um solo arenoso com granulometria aberta. utilizando a figura 3 pode-se classificar o solo como um A-3 com a classificação HRB.

**FIGURA 11 - CLASSIFICAÇÃO DA CURVA GRANULOMÉTRICA.**



Fonte: Google Imagens.

Obteve 6% do material passante na peneira de número 200, logo não é possível realizar os ensaios de limite de liquidez e limite de plasticidade, pois necessário mais de 10% do material passante na peneira de número 200.

De acordo com a classificação HRB, o solo A-3 é classificado como: areias finas, com menos de 10% passando na peneira de número 200 e mais de 50%

passando na peneira de número 40. São, assim, areias finas mal graduadas, com IP nulo.

Além dessas classificações o solo teve uma massa unitária, e uma massa específica.

$$Pap = \frac{833 - 110}{500}$$

$$Pap = 1,45 \text{ g/cm}^3$$

A massa específica deu um resultado de  $1,45 \text{ g/cm}^3$ .

$$y = \frac{500}{576 - 200}$$

$$\gamma = 1,33 \text{ g/cm}^3$$

Já a massa unitária deu um valor de  $1,33 \text{ g/cm}^3$ .

## 4.2 RESULTADOS DO ENSAIO DE COMPACTAÇÃO

Os ensaios de compactação foram executados em amostras de 2, 4, 6, 8 e 10% de cal em peso, e amostras de 1, 2, 3, 4 e 5% de solução de Oxnix, diluídos em 1 litro de água e utilizando um décimo da solução no ensaio.

**GRÁFICO 6 – CURVA DE COMPACTAÇÃO DO SOLO NATURAL E SOLO NATURAL + CAL.**

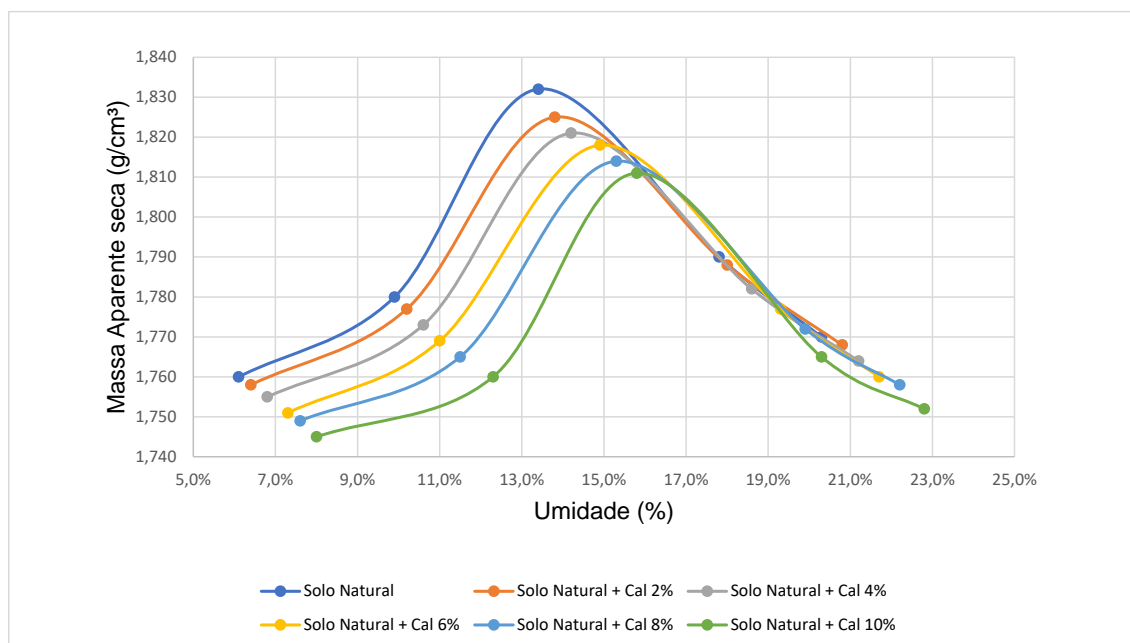
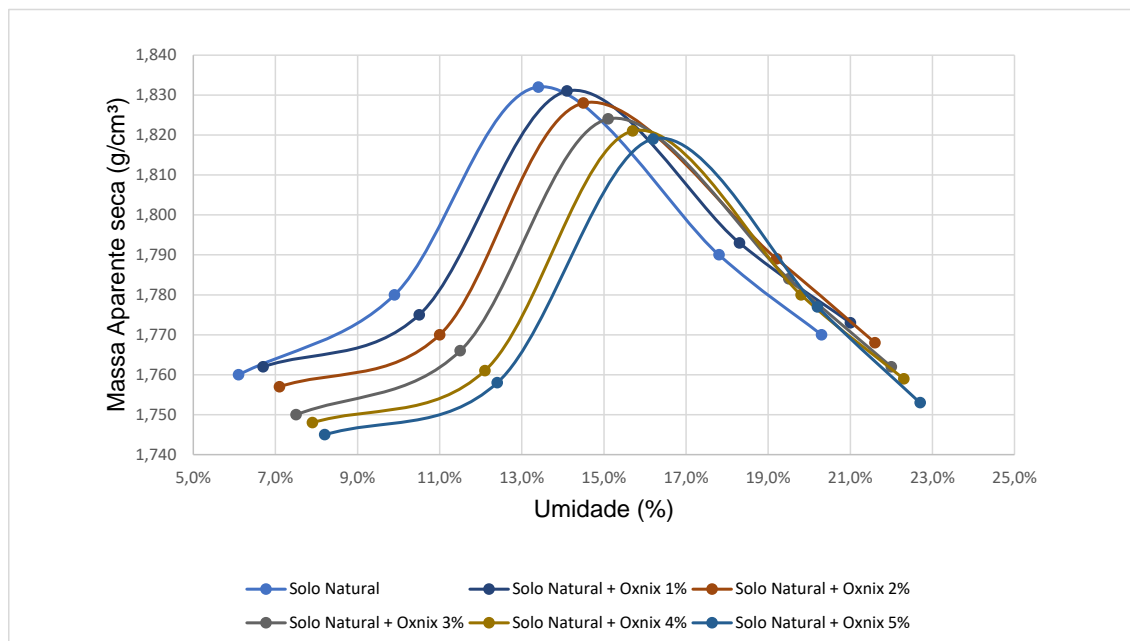




GRÁFICO 7- CURVA DE COMPACTAÇÃO DO SOLO NATURAL E SOLO NATURAL + OXNIX.



Ao observar os resultados obtidos nos gráficos 6 e 7, percebeu-se que com o aumento da dosagem dos aditivos acarretou em um aumento da umidade ótima. Isso significa que a cal hidratada e o aditivo Oxnix age na mistura de maneira a absorver uma quantidade de água, evitando assim que o solo se torne supersaturado.

Também ao observar o gráfico 6, pode se perceber que a massa aparente seca do solo natural com cal está com maior diferença ao comparar o solo natural com o aditivo Oxnix.

**TABELA 10 - COMPACTAÇÃO DAS MISTURAS DE SOLO COM OS ADITIVOS.**

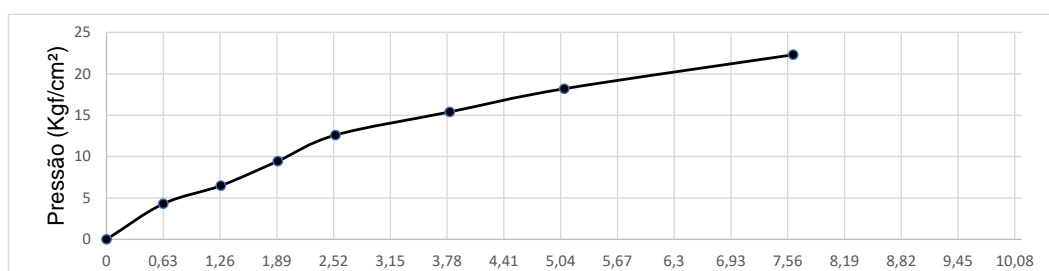
Descrição	Teores de Aditivo	W ótima	Ys máx (g/cm³)
Solo Natural		13,4%	1,832
Cal			
Solo Natural + Cal	2%	13,8%	1,825
Solo Natural + Cal	4%	14,2%	1,821
Solo Natural + Cal	6%	14,9%	1,818
Solo Natural + Cal	8%	15,3%	1,814
Solo Natural + Cal	10%	15,8%	1,811
Oxnix			
Solo Natural + Oxnix	1%	14,1%	1,831
Solo Natural + Oxnix	2%	14,5%	1,828
Solo Natural + Oxnix	3%	15,1%	1,824
Solo Natural + Oxnix	4%	15,7%	1,821
Solo Natural + Oxnix	5%	16,2%	1,819

Já observando a massa específica aparente seca máxima, observa-se que ocorre o contrário, ou seja quanto maior os teores dos aditivos ocorre a redução da massa específica seca. Uma diminuição geral do  $\gamma_s$  significa que a amostra perde seu peso sem alterar seu volume, ou seja, se torna um material mais leve sem diminuir propriedades volumétricas.

#### 4.3 RESULTADOS DO ENSAIO DE CBR E EXPANSÃO

Para análise dos resultados do ensaio de CBR e expansão foram realizados 11 corpos de prova, no teor de umidade ótima, afim de obter os resultados de CBR, demonstrados nos gráficos 9 ao 18.

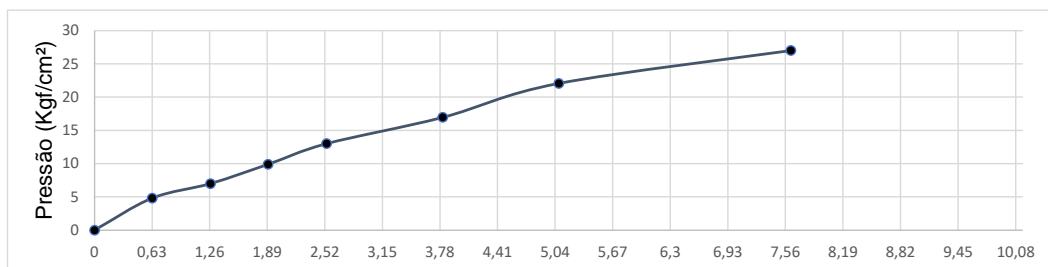
**GRÁFICO 8 - CURVA DO ISC DO SOLO NATURAL.**



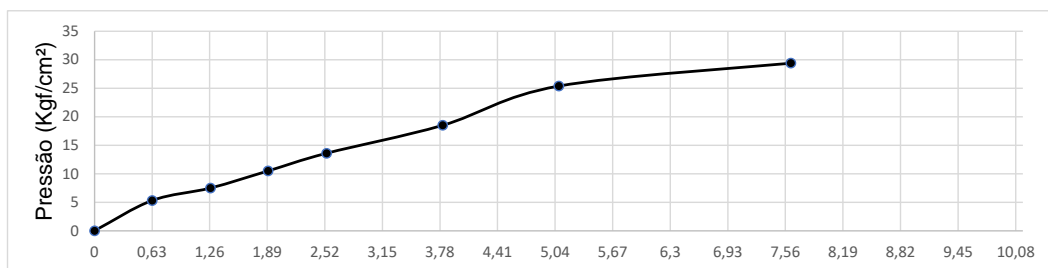
De acordo com DNIT (2006), o subleito não tem um valor número para o CBR, mas afirma quanto menor for o valor se tem um dimensionamento do pavimento com mais de uma camada e grandes espessuras.

Ao visualizar o gráfico 8 vemos que o solo tem um CBR inferior a 20, sendo um solo fraco e podendo acarretar em um dimensionamento do pavimento com mais de uma camada e grandes espessuras.

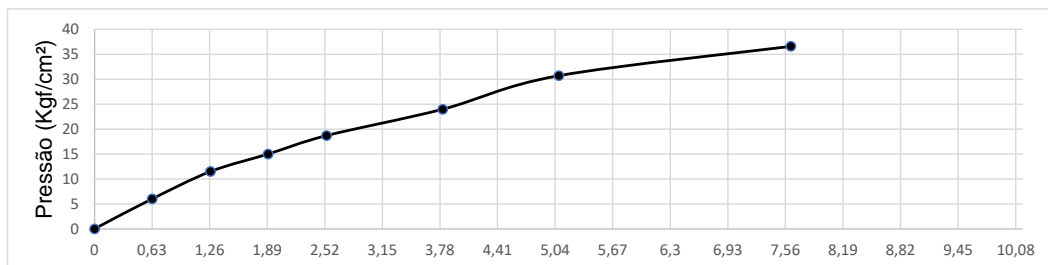
**GRÁFICO 9 - CURVA DO ISC DO SOLO NATURAL + 2% DE CAL.**



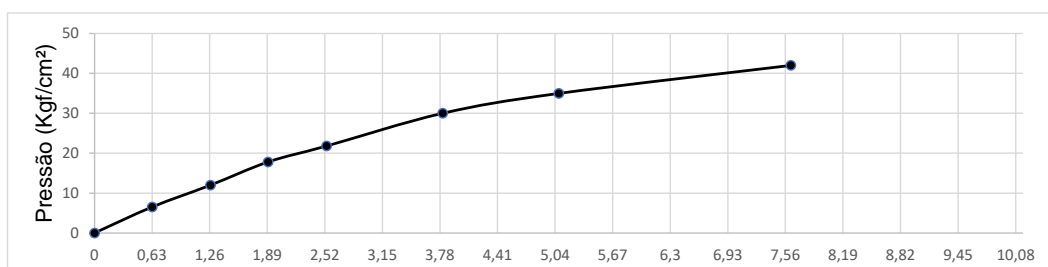
**GRÁFICO 10 - CURVA DO ISC DO SOLO NATURAL + 4% DE CAL.**

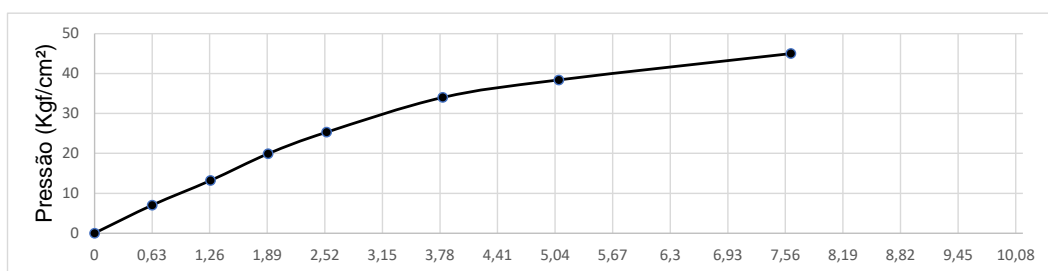


**GRÁFICO 11 - CURVA DO ISC DO SOLO NATURAL + 6% DE CAL.**

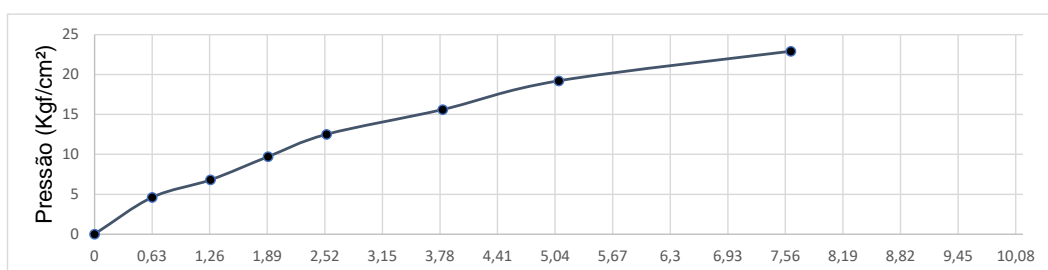
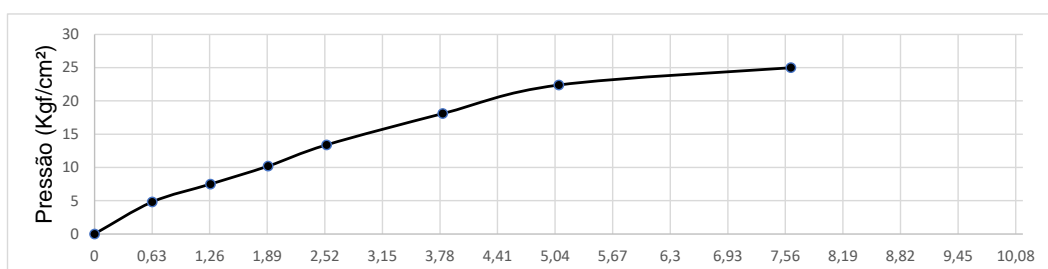


**GRÁFICO 12 - CURVA DO ISC DO SOLO NATURAL + 8% DE CAL.**

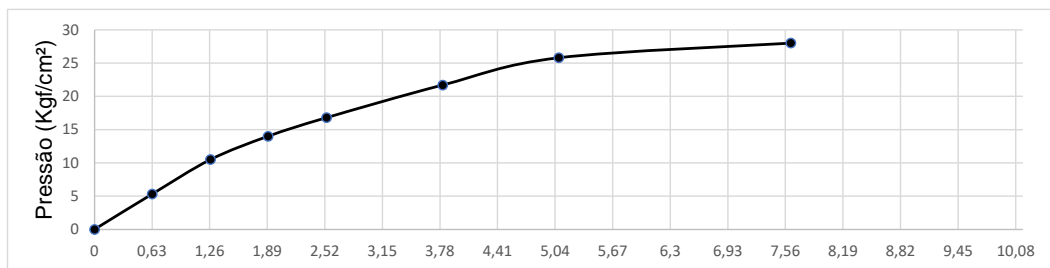


**GRÁFICO 13 - CURVA DO ISC DO SOLO NATURAL + 10% DE CAL.**

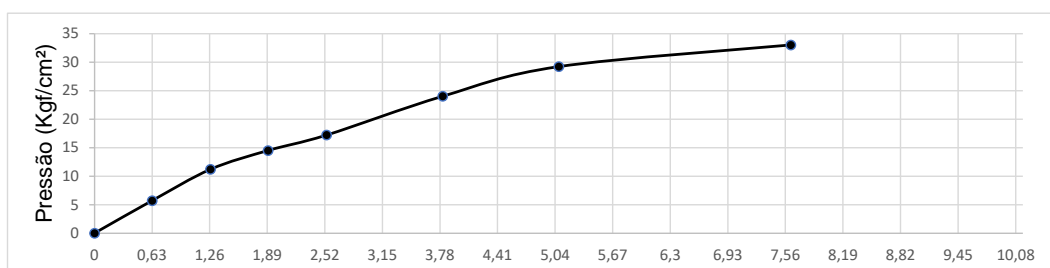
Os gráficos 9 ao 13 são relacionados sobre a curva do ISC do solo natural com adição dos teores de CAL, aonde se obteve melhorias no CBR já na primeira porcentagem de 2%, chegando a um ISC de 22,06; e na última porcentagem chegou a um ISC de 48,40, sendo mais que o dobro do solo natural que foi de um ISC de 18,20; os valores de CBR com porcentagem de 4, 6 e 8% foram respectivamente, 25,39; 30,70; 34,98.

**GRÁFICO 14 - CURVA DO ISC DO SOLO NATURAL + 1% DO ADITIVO OXNIX.****GRÁFICO 15 - CURVA DO ISC DO SOLO NATURAL + 2% DO ADITIVO OXNIX.**

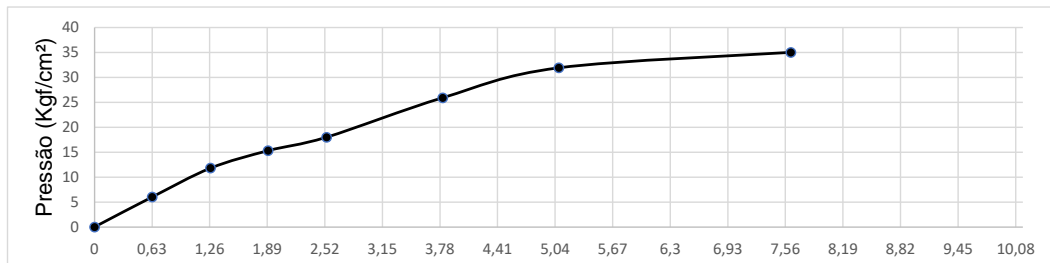
**GRÁFICO 16 - CURVA DO ISC DO SOLO NATURAL + 3% DO ADITIVO OXNIX.**



**GRÁFICO 17 - CURVA DO ISC DO SOLO NATURAL + 4% DO ADITIVO OXNIX.**



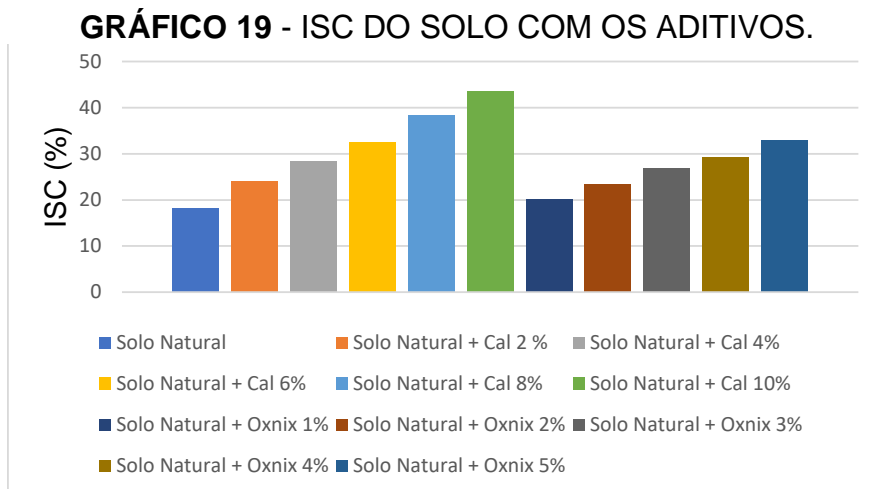
**GRÁFICO 18 - CURVA DO ISC DO SOLO NATURAL + 5% DO ADITIVO OXNIX.**



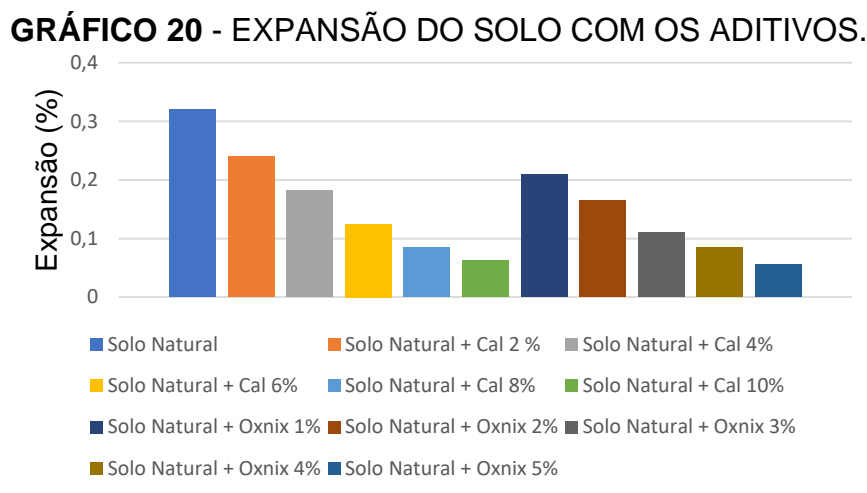
Os gráficos 14 ao 18 são relacionados sobre a curva do ISC do solo natural com adição dos teores do aditivo OXNIX, aonde se obteve melhorias no CBR já na primeira porcentagem de 1%, porém não foi uma melhoria significativa, chegando a um ISC de 19,20; e na última porcentagem chegou a um ISC de 31,90; os valores de CBR com porcentagem de 2, 3 e 4% foram respectivamente, 22,40; 25,80; 29,20.

Ao analisar os resultados obtidos, observou-se a eficácia das dosagens de cal no melhoramento do solo comparando-o com o solo natural. Os valores de CBR atingidos com os teores dos aditivos não foram os esperados, mesmo estando acima do limite recomendado pelo DNIT para utilização com camada de

sub-base. O gráfico 19 a seguir apresenta o CBR das misturas solo com os aditivos.



Os ensaios de CBR foram realizados todos com os teores de umidade ótima. É possível notar uma relação diretamente proporcional entre as dosagens e o CBR, pois quando se teve o aumento da dosagem de cal ocorre também o aumento da capacidade suporte do solo, o mesmo caso em relação ao aditivo Oxnix, porem com uma variação mais baixa.



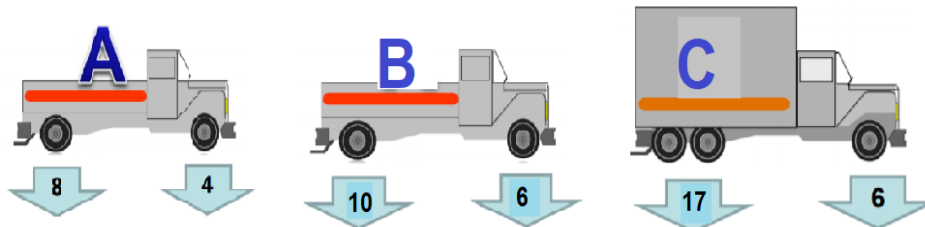
Com relação à expansão, no gráfico 20, das misturas de solo com os aditivos, obteve-se valores ótimos e inferior ao esperado, estando de acordo com o recomendado pelo DNIT para camada de sub-base.

#### 4.4 CALCULO DAS CAMADAS DE PAVIMENTAÇÃO E ORÇAMENTO

- Calculo do VMD:

Aonde se tem, um projeto previsto para 10 anos, com uma taxa de crescimento de 5% ao ano, sendo 45 passagens do veículo A, 10 passagem do veículo B e 10 passagem do veículo C, conforme imagem 11:

**FIGURA 12 - VEÍCULOS E CARGA POR EIXO.**



$$VMD = \frac{65 * (2 + (10 - 1) * \left(\frac{5}{100}\right))}{2}$$

$$VMD = 79,625 \text{ passagens}$$

➤ Tabela do FC:

o cálculo do fator de carga e calculado conforme a tabela 5, e os valores encontrados estão na tabela 11.

**TABELA 11 - CÁLCULO DO FATOR DE CARGA (FC).**

Ordem	Eixo simples			Fci	Frequencia absoluta (Fi)	Frequencia relativa (fi)	Fci x fi
	ES	ED	ET				
1	4			0,055	45	0,346	0,019
2	8			0,815	45	0,346	0,282
3	6			0,278	10	0,077	0,021
4	10			3,289	10	0,077	0,253
5	6			0,278	10	0,077	0,021
6		17		8,549	10	0,077	0,658
					130	1	1,254

➤ Calculo do FE:

$$FE = \frac{(2 * 45) + (2 * 10) + (2 * 10)}{(45 + 10 + 10)}$$

$$FE = 2 \text{ eixos}$$

➤ Calculo do número N:

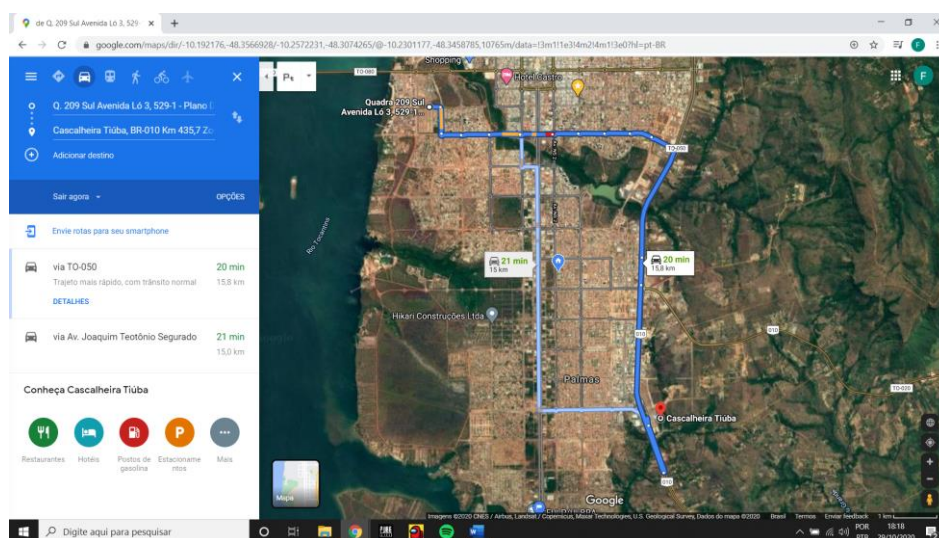
$$N = 365 * 79,625 * 10 * (1,254 * 2)$$

$$N = 7,28 \times 10^5$$

E de acordo com o número N obtido nos cálculos e a tabela 7 o CBR mínimo e de 60%. Conforme a tabela 8 a espessura mínima do revestimento betuminoso será o tratamento superficial betuminoso, que para efeitos de

cálculos e considerado espessura igual a 0, visto que o número N foi inferior a  $10^6$ .

**FIGURA 13 - LOCALIZAÇÃO DA CAIXA DE EMPRÉSTIMO, LOCAL DE BOTA FORA E DISTÂNCIA ATÉ A VIA PARA PAVIMENTAÇÃO.**



Para cálculo do volume de escavação de subleito e de material da caixa de empréstimo, considerar, uma via dupla, com 3 faixas cada via, sendo as faixas de 3,5m e 1m adicional, totalizando em 22 metros de largura, com um comprimento total de 500m de uma rotatória a outra, o material da caixa de empréstimo e bota fora localizados a 16Km conforme figura 13.

**TABELA 12 - DADOS DE BOTA FORA PARA ELABORAÇÃO DO ORÇAMENTO.**

Tipo de solo	Comprimento	Corte, Transporte (m <sup>3</sup> *km)					
		Largura	Profundidade	F.E.	Volume	Distancia	DMT
SN	500,00	22,00	0,27	20%	3564,00	16,00	4073,14
SN + CAL 2	500,00	22,00	0,25	20%	3300,00	16,00	3771,43
SN + CAL 4	500,00	22,00	0,22	20%	2904,00	16,00	3318,86
SN + CAL 6	500,00	22,00	0,2	20%	2640,00	16,00	3017,14
SN + CAL 8	500,00	22,00	0,18	20%	2376,00	16,00	2715,43
SN + CAL 10	500,00	22,00	0,17	20%	2244,00	16,00	2564,57
SN + OXNIX 1	500,00	22,00	0,26	20%	3432,00	16,00	3922,29
SN + OXNIX 2	500,00	22,00	0,24	20%	3168,00	16,00	3620,57
SN + OXNIX 3	500,00	22,00	0,22	20%	2904,00	16,00	3318,86
SN + OXNIX 4	500,00	22,00	0,20	20%	2640,00	16,00	3017,14
SN + OXNIX 5	500,00	22,00	0,19	20%	2508,00	16,00	2866,29



**TABELA 13 - DADOS DE ESCAVAÇÃO DA CAIXA DE EMPRÉSTIMO PARA ELABORAÇÃO DO ORÇAMENTO.**

Tipo de solo	Comprimento	escavação, Transporte (m <sup>3</sup> *km)						
		Largura	Profundidade	F.E.	F.R.	Volume	Distancia	DMT
SN	500,00	22,00	0,27	20%	5%	3742,20	16,00	4276,80
SN + CAL 2	500,00	22,00	0,25	20%	5%	3465,00	16,00	3960,00
SN + CAL 4	500,00	22,00	0,22	20%	5%	3049,20	16,00	3484,80
SN + CAL 6	500,00	22,00	0,20	20%	5%	2772,00	16,00	3168,00
SN + CAL 8	500,00	22,00	0,18	20%	5%	2494,80	16,00	2851,20
SN + CAL 10	500,00	22,00	0,17	20%	5%	2356,20	16,00	2692,80
SN + OXNIX 1	500,00	22,00	0,26	20%	5%	3603,60	16,00	4118,40
SN + OXNIX 2	500,00	22,00	0,24	20%	5%	3326,40	16,00	3801,60
SN + OXNIX 3	500,00	22,00	0,22	20%	5%	3049,20	16,00	3484,80
SN + OXNIX 4	500,00	22,00	0,20	20%	5%	2772,00	16,00	3168,00
SN + OXNIX 5	500,00	22,00	0,19	20%	5%	2633,40	16,00	3009,60

Os dados de bota fora e de escavação da caixa de empréstimo para elaboração dos orçamentos encontram-se nas tabelas 12 e 13.

#### 4.4.1 solo natural

##### 4.4.1.1 calculo da espessura da camada

Conforme a tabela 9, o coeficiente de equivalência estrutural do revestimento e 1,2; e da base e 1,0; valores que serão utilizados para determinar a espessura da camada de base.

Determinação da espessura do pavimento acima camada de subleito (Ht).

$$Ht = 77,67 * (7,28 * 10^5)^{0,0482} * 18,20^{-0,598}$$

$$Ht \cong 27 \text{ cm}$$

Determinação da espessura da camada de base (B).

$$1,2 * 0 + 1 * B \geq 27$$

$$B = 27 \text{ cm}$$

## 4.4.1.2 orçamento

**TABELA 14 - ORÇAMENTO DO SOLO NATURAL.**Obra  
TCCBancos  
SINAPI - 09/2020 -  
TocantinsB.D.I.  
0,0%Encargos Sociais  
Desonerado: embutido nos  
preços unitário dos insumos de  
mão de obra, de acordo com as  
bases.

## Planilha Orçamentária Sintética

Item	Código	Banco	Descrição	Und	Quant.	Valor Unit	Valor Unit com BDI	Total	Peso (%)
<b>1</b>			<b>Terraplenagem</b>					<b>60.708,59</b>	<b>100,00 %</b>
1.1	74151/001	SINAPI	ESCAVACAO E CARGA MATERIAL 1A CATEGORIA, UTILIZANDO TRATOR DE ESTEIRAS DE 110 A 160HP COM LAMINA, PESO OPERACIONAL * 13T E PA CARREGADEIRA COM 170 HP.	m³	3564	2,41	2,41	8.589,24	14,15 %
1.2	93592	SINAPI	TRANSPORTE COM CAMINHÃO BASCULANTE DE 14 M³, EM VIA URBANA EM REVESTIMENTO PRIMÁRIO (UNIDADE: M3XKM). AF_07/2020	M3XKM	4073,14	1,28	1,28	5.213,61	8,59 %
1.3	100577	SINAPI	REGULARIZAÇÃO E COMPACTAÇÃO DE SUBLEITO DE SOLO PREDOMINANTEMENTE ARENOSO. AF_11/2019	m²	11000	0,59	0,59	6.490,00	10,69 %
1.4	74151/001	SINAPI	ESCAVACAO E CARGA MATERIAL 1A CATEGORIA, UTILIZANDO TRATOR DE ESTEIRAS DE 110 A 160HP COM LAMINA, PESO OPERACIONAL * 13T E PA CARREGADEIRA COM 170 HP.	m³	4276,8	2,41	2,41	10.307,08	16,98 %
1.5	95876	SINAPI	TRANSPORTE COM CAMINHÃO BASCULANTE DE 14 M³, EM VIA URBANA PAVIMENTADA, DMT ATÉ 30 KM (UNIDADE: M3XKM). AF_07/2020	M3XKM	4276,8	1,16	1,16	4.961,08	8,17 %
1.6	96387	SINAPI	EXECUÇÃO E COMPACTAÇÃO DE BASE E OU SUB BASE COM SOLO ESTABILIZADO GRANULOMETRICAMENTE - EXCLUSIVE ESCAVAÇÃO, CARGA E TRANSPORTE E SOLO. AF_09/2017	m³	4276,8	5,88	5,88	25.147,58	41,42 %

Total sem BDI

60.708,59

Total do BDI

0,00

Total Geral

60.708,59

---

 Frederico Busanello  
 Sócio/CEO/Proprietário

O orçamento do solo natural apresentado na tabela 14, teve os dados extraídos das tabelas 12 e 13, e totalizando um a valor total de R\$ 60.708,59, e um preço de R\$/m<sup>2</sup> 5,52.

#### **4.4.2 solo com cal**

##### 4.4.2.1 Solo com 2% cal

Determinação da espessura do pavimento acima camada de subleito (Ht).

$$Ht = 77,67 * (7,28 * 10^5)^{0,0482} * 20,10^{-0,598}$$

$$Ht \cong 25 \text{ cm}$$

Determinação da espessura da camada de base (B).

$$1,2 * 0 + 1 * B \geq 25$$

$$B = 25 \text{ cm}$$

## 4.4.2.1.1 orçamento

**TABELA 15 - ORÇAMENTO DO SOLO NATURAL COM 2% DE CAL.**Obra  
TCCBancos  
SINAPI - 09/2020 -  
TocantinsB.D.I.  
0,0%Encargos Sociais  
Desonerado: embutido nos  
preços unitário dos insumos de  
mão de obra, de acordo com as  
bases.

Planilha Orçamentária Sintética

Item	Código	Banco	Descrição	Und	Quant.	Valor Unit	Valor Unit com BDI	Total	Peso (%)
<b>1</b>			<b>Terraplenagem</b>					<b>57.566,38</b>	<b>100,00 %</b>
1.1	74151/001	SINAPI	ESCAVAÇÃO E CARGA MATERIAL 1A CATEGORIA, UTILIZANDO TRATOR DE ESTEIRAS DE 110 A 160HP COM LAMINA, PESO OPERACIONAL * 13T E PA CARREGADEIRA COM 170 HP.	m³	3300	2,41	2,41	7.953,00	13,82 %
1.2	93592	SINAPI	TRANSPORTE COM CAMINHÃO BASCULANTE DE 14 M³, EM VIA URBANA EM REVESTIMENTO PRIMÁRIO (UNIDADE: M3XKM). AF_07/2020	M3XKM	3771,43	1,28	1,28	4.827,43	8,39 %
1.3	100577	SINAPI	REGULARIZAÇÃO E COMPACTAÇÃO DE SUBLEITO DE SOLO PREDOMINANTEMENTE ARENOSO. AF_11/2019	m²	11000	0,59	0,59	6.490,00	11,27 %
1.4	74151/001	SINAPI	ESCAVAÇÃO E CARGA MATERIAL 1A CATEGORIA, UTILIZANDO TRATOR DE ESTEIRAS DE 110 A 160HP COM LAMINA, PESO OPERACIONAL * 13T E PA CARREGADEIRA COM 170 HP.	m³	3465	2,41	2,41	8.350,65	14,51 %
1.5	95876	SINAPI	TRANSPORTE COM CAMINHÃO BASCULANTE DE 14 M³, EM VIA URBANA PAVIMENTADA, DMT ATÉ 30 KM (UNIDADE: M3XKM). AF_07/2020	M3XKM	3960	1,16	1,16	4.593,60	7,98 %
1.6	96387	SINAPI	EXECUÇÃO E COMPACTAÇÃO DE BASE E OU SUB BASE COM SOLO ESTABILIZADO GRANULOMETRICAMENTE - EXCLUSIVE ESCAVAÇÃO, CARGA E TRANSPORTE E SOLO. AF_09/2017	m³	3960	5,88	5,88	23.284,80	40,45 %
1.7	00000001	Próprio	Cal Hidratada, 15 KG	uni	110	18,79	18,79	2.066,90	3,59 %

<b>Total sem BDI</b>	<b>57.566,38</b>
<b>Total do BDI</b>	<b>0,00</b>
<b>Total Geral</b>	<b>57.566,38</b>

---

Frederyco Busanello  
Sócio/CEO/Proprietário

O orçamento do solo natural apresentado na tabela 15, teve os dados extraídos das tabelas 12 e 13, e totalizando um a valor total de R\$ 57.566,38, e um preço de R\$/m<sup>2</sup> 5,23.

#### 4.4.2.2 solo com 4% cal

Determinação da espessura do pavimento acima camada de subleito (Ht).

$$Ht = 77,67 * (7,28 * 10^5)^{0,0482} * 25,30^{-0,598}$$

$$Ht \cong 22 \text{ cm}$$

Determinação da espessura da camada de base (B).

$$1,2 * 0 + 1 * B \geq 22$$

$$B = 22 \text{ cm}$$

## 4.4.2.2.1 Orçamento

**TABELA 16 - ORÇAMENTO DO SOLO NATURAL COM 4% DE CAL.**Obra  
TCCBancos  
SINAPI - 09/2020 -  
TocantinsB.D.I.  
0,0%Encargos Sociais  
Desonerado: embutido nos  
preços unitário dos insumos de  
mão de obra, de acordo com as  
bases.

Planilha Orçamentária Sintética									
Item	Código	Banco	Descrição	Und	Quant.	Valor Unit	Valor Unit com BDI	Total	Peso (%)
<b>1</b>			<b>Terraplenagem</b>					<b>53.752,13</b>	<b>100,00 %</b>
1.1	74151/001	SINAPI	ESCAVAÇÃO E CARGA MATERIAL 1A CATEGORIA, UTILIZANDO TRATOR DE ESTEIRAS DE 110 A 160HP COM LAMINA, PESO OPERACIONAL * 13T E PA CARREGADEIRA COM 170 HP.	m³	2904	2,41	2,41	6.998,64	13,02 %
1.2	93592	SINAPI	TRANSPORTE COM CAMINHÃO BASCULANTE DE 14 M³, EM VIA URBANA EM REVESTIMENTO PRIMÁRIO (UNIDADE: M3XKM). AF_07/2020	M3XKM	3318,86	1,28	1,28	4.248,14	7,90 %
1.3	100577	SINAPI	REGULARIZAÇÃO E COMPACTAÇÃO DE SUBLEITO DE SOLO PREDOMINANTEMENTE ARENOSO. AF 11/2019	m²	11000	0,59	0,59	6.490,00	12,07 %
1.4	74151/001	SINAPI	ESCAVAÇÃO E CARGA MATERIAL 1A CATEGORIA, UTILIZANDO TRATOR DE ESTEIRAS DE 110 A 160HP COM LAMINA, PESO OPERACIONAL * 13T E PA CARREGADEIRA COM 170 HP.	m³	3049,2	2,41	2,41	7.348,57	13,67 %
1.5	95876	SINAPI	TRANSPORTE COM CAMINHÃO BASCULANTE DE 14 M³, EM VIA URBANA PAVIMENTADA, DMT ATÉ 30 KM (UNIDADE: M3XKM). AF_07/2020	M3XKM	3484,8	1,16	1,16	4.042,36	7,52 %
1.6	96387	SINAPI	EXECUÇÃO E COMPACTAÇÃO DE BASE E OU SUB BASE COM SOLO ESTABILIZADO GRANULOMETRICAMENTE - EXCLUSIVE ESCAVAÇÃO, CARGA E TRANSPORTE E SOLO. AF 09/2017	m³	3484,8	5,88	5,88	20.490,62	38,12 %
1.7	00000001	Próprio	Cal Hidratada, 15 KG	uni	220	18,79	18,79	4.133,80	7,69 %
<b>Total sem BDI</b>								<b>53.752,13</b>	
<b>Total do BDI</b>								<b>0,00</b>	
<b>Total Geral</b>								<b>53.752,13</b>	

---

 Frederico Busanello  
 Sócio/CEO/Proprietário

O orçamento do solo natural apresentado na tabela 16, teve os dados extraídos das tabelas 12 e 13, e totalizando um a valor total de R\$ 53.752,13, e um preço de R\$/m<sup>2</sup> 4,87.

#### 4.4.2.3 solo com 6% cal

Determinação da espessura do pavimento acima camada de subleito (Ht).

$$Ht = 77,67 * (7,28 * 10^5)^{0,0482} * 29,50^{-0,598}$$

$$Ht \cong 20 \text{ cm}$$

Determinação da espessura da camada de base (B).

$$1,2 * 0 + 1 * B \geq 20$$

$$B = 20 \text{ cm}$$





## 4.4.2.3.1 Orçamento

**TABELA 17 - ORÇAMENTO DO SOLO NATURAL COM 6% DE CAL.**Obra  
TCCBancos  
SINAPI - 09/2020 -  
TocantinsB.D.I.  
0,0%Encargos Sociais  
Desonerado: embutido nos  
preços unitário dos insumos de  
mão de obra, de acordo com as  
bases.

Planilha Orçamentária Sintética									
Item	Código	Banco	Descrição	Und	Quant.	Valor Unit	Valor Unit com BDI	Total	Peso (%)
<b>1</b>			<b>Terraplenagem</b>					<b>52.284,48</b>	<b>100,00 %</b>
1.1	74151/001	SINAPI	ESCAVAÇÃO E CARGA MATERIAL 1A CATEGORIA, UTILIZANDO TRATOR DE ESTEIRAS DE 110 A 160HP COM LAMINA, PESO OPERACIONAL * 13T E PA CARREGADEIRA COM 170 HP.	m³	2640	2,41	2,41	6.362,40	12,17 %
1.2	93592	SINAPI	TRANSPORTE COM CAMINHÃO BASCULANTE DE 14 M³, EM VIA URBANA EM REVESTIMENTO PRIMÁRIO (UNIDADE: M3XKM). AF_07/2020	M3XKM	3318,86	1,28	1,28	4.248,14	8,13 %
1.3	100577	SINAPI	REGULARIZAÇÃO E COMPACTAÇÃO DE SUBLEITO DE SOLO PREDOMINANTEMENTE ARENOSO. AF 11/2019	m²	11000	0,59	0,59	6.490,00	12,41 %
1.4	74151/001	SINAPI	ESCAVAÇÃO E CARGA MATERIAL 1A CATEGORIA, UTILIZANDO TRATOR DE ESTEIRAS DE 110 A 160HP COM LAMINA, PESO OPERACIONAL * 13T E PA CARREGADEIRA COM 170 HP.	m³	2772	2,41	2,41	6.680,52	12,78 %
1.5	95876	SINAPI	TRANSPORTE COM CAMINHÃO BASCULANTE DE 14 M³, EM VIA URBANA PAVIMENTADA, DMT ATÉ 30 KM (UNIDADE: M3XKM). AF_07/2020	M3XKM	3168	1,16	1,16	3.674,88	7,03 %
1.6	96387	SINAPI	EXECUÇÃO E COMPACTAÇÃO DE BASE E OU SUB BASE COM SOLO ESTABILIZADO GRANULOMETRICAMENTE - EXCLUSIVE ESCAVAÇÃO, CARGA E TRANSPORTE E SOLO. AF 09/2017	m³	3168	5,88	5,88	18.627,84	35,63 %
1.7	00000001	Próprio	Cal Hidratada, 15 KG	uni	330	18,79	18,79	6.200,70	11,86 %
<b>Total sem BDI</b>								<b>52.284,48</b>	
<b>Total do BDI</b>								<b>0,00</b>	
<b>Total Geral</b>								<b>52.284,48</b>	

---

 Frederico Busanello  
 Sócio/CEO/Proprietário

O orçamento do solo natural apresentado na tabela 17, teve os dados extraídos das tabelas 12 e 13, e totalizando um a valor total de R\$ 52.284,48 e um preço de R\$/m<sup>2</sup> 4,75.

#### 4.4.2.4 solo com 8% cal

Determinação da espessura do pavimento acima camada de subleito (Ht).

$$Ht = 77,67 * (7,28 * 10^5)^{0,0482} * 35,40^{-0,598}$$

$$Ht \cong 18 \text{ cm}$$

Determinação da espessura da camada de base (B).

$$1,2 * 0 + 1 * B \geq 27$$

$$B = 18 \text{ cm}$$

## 4.4.2.4.1 Orçamento

**TABELA 18 - ORÇAMENTO DO SOLO NATURAL COM 8% DE CAL.**Obra  
TCCBancos  
SINAPI - 09/2020 -  
TocantinsB.D.I.  
0,0%Encargos Sociais  
Desonerado: embutido nos  
preços unitário dos insumos de  
mão de obra, de acordo com as  
bases.

Planilha Orçamentária Sintética									
Item	Código	Banco	Descrição	Und	Quant.	Valor Unit	Valor Unit com BDI	Total	Peso (%)
<b>1</b>			<b>Terraplenagem</b>					<b>50.680,65</b>	<b>100,00 %</b>
1.1	74151/001	SINAPI	ESCAVAÇÃO E CARGA MATERIAL 1A CATEGORIA, UTILIZANDO TRATOR DE ESTEIRAS DE 110 A 160HP COM LAMINA, PESO OPERACIONAL * 13T E PA CARREGADEIRA COM 170 HP.	m³	2640	2,41	2,41	6.362,40	12,55 %
1.2	93592	SINAPI	TRANSPORTE COM CAMINHÃO BASCULANTE DE 14 M³, EM VIA URBANA EM REVESTIMENTO PRIMÁRIO (UNIDADE: M3XKM). AF_07/2020	M3XKM	2715,43	1,28	1,28	3.475,75	6,86 %
1.3	100577	SINAPI	REGULARIZAÇÃO E COMPACTAÇÃO DE SUBLEITO DE SOLO PREDOMINANTEMENTE ARENOSO. AF 11/2019	m²	11000	0,59	0,59	6.490,00	12,81 %
1.4	74151/001	SINAPI	ESCAVAÇÃO E CARGA MATERIAL 1A CATEGORIA, UTILIZANDO TRATOR DE ESTEIRAS DE 110 A 160HP COM LAMINA, PESO OPERACIONAL * 13T E PA CARREGADEIRA COM 170 HP.	m³	2494,8	2,41	2,41	6.012,46	11,86 %
1.5	95876	SINAPI	TRANSPORTE COM CAMINHÃO BASCULANTE DE 14 M³, EM VIA URBANA PAVIMENTADA, DMT ATÉ 30 KM (UNIDADE: M3XKM). AF_07/2020	M3XKM	2851,2	1,16	1,16	3.307,39	6,53 %
1.6	96387	SINAPI	EXECUÇÃO E COMPACTAÇÃO DE BASE E OU SUB BASE COM SOLO ESTABILIZADO GRANULOMETRICAMENTE - EXCLUSIVE ESCAVAÇÃO, CARGA E TRANSPORTE E SOLO. AF 09/2017	m³	2851,2	5,88	5,88	16.765,05	33,08 %
1.7	00000001	Próprio	Cal Hidratada, 15 KG	uni	440	18,79	18,79	8.267,60	16,31 %
<b>Total sem BDI</b>								<b>50.680,65</b>	
<b>Total do BDI</b>								<b>0,00</b>	
<b>Total Geral</b>								<b>50.680,65</b>	

---

 Frederyco Busanello  
 Sócio/CEO/Proprietário

O orçamento do solo natural apresentado na tabela 18, teve os dados extraídos das tabelas 12 e 13, e totalizando um a valor total de R\$ 50.680,65 e um preço de R\$/m<sup>2</sup> 4,61.

#### 4.4.2.5 solo com 10% cal

Determinação da espessura do pavimento acima camada de subleito (Ht).

$$Ht = 77,67 * (7,28 * 10^5)^{0,0482} * 40,50^{-0,598}$$

$$Ht \cong 17 \text{ cm}$$

Determinação da espessura da camada de base (B).

$$1,2 * 0 + 1 * B \geq 17$$

$$B = 17 \text{ cm}$$

## 4.4.2.5.1 Orçamento

**TABELA 19 - ORÇAMENTO DO SOLO NATURAL COM 10% DE CAL.**Obra  
TCCBancos  
SINAPI - 09/2020 -  
TocantinsB.D.I.  
0,0%Encargos Sociais  
Desonerado: embutido nos  
preços unitário dos insumos de  
mão de obra, de acordo com as  
bases.

## Planilha Orçamentária Sintética

Item	Código	Banco	Descrição	Und	Quant.	Valor Unit	Valor Unit com BDI	Total	Peso (%)
<b>1</b>			<b>Terraplenagem</b>					<b>50.150,92</b>	<b>100,00 %</b>
1.1	74151/001	SINAPI	ESCAVACAO E CARGA MATERIAL 1A CATEGORIA, UTILIZANDO TRATOR DE ESTEIRAS DE 110 A 160HP COM LAMINA, PESO OPERACIONAL * 13T E PA CARREGADEIRA COM 170 HP.	m³	2244	2,41	2,41	5.408,04	10,78 %
1.2	93592	SINAPI	TRANSPORTE COM CAMINHÃO BASCULANTE DE 14 M³, EM VIA URBANA EM REVESTIMENTO PRIMÁRIO (UNIDADE: M3XKM). AF_07/2020	M3XKM	2564,57	1,28	1,28	3.282,64	6,55 %
1.3	100577	SINAPI	REGULARIZAÇÃO E COMPACTAÇÃO DE SUBLEITO DE SOLO PREDOMINANTEMENTE ARENOSO. AF_11/2019	m²	11000	0,59	0,59	6.490,00	12,94 %
1.4	74151/001	SINAPI	ESCAVACAO E CARGA MATERIAL 1A CATEGORIA, UTILIZANDO TRATOR DE ESTEIRAS DE 110 A 160HP COM LAMINA, PESO OPERACIONAL * 13T E PA CARREGADEIRA COM 170 HP.	m³	2356,2	2,41	2,41	5.678,44	11,32 %
1.5	95876	SINAPI	TRANSPORTE COM CAMINHÃO BASCULANTE DE 14 M³, EM VIA URBANA PAVIMENTADA, DMT ATÉ 30 KM (UNIDADE: M3XKM). AF_07/2020	M3XKM	2692,8	1,16	1,16	3.123,64	6,23 %
1.6	96387	SINAPI	EXECUÇÃO E COMPACTAÇÃO DE BASE E OU SUB BASE COM SOLO ESTABILIZADO GRANULOMETRICAMENTE - EXCLUSIVE ESCAVAÇÃO, CARGA E TRANSPORTE E SOLO. AF_09/2017	m³	2692,8	5,88	5,88	15.833,66	31,57 %
1.7	00000001	Próprio	Cal Hidratada, 15 KG	uni	550	18,79	18,79	10.334,50	20,61 %
<b>Total sem BDI</b>								<b>50.150,92</b>	
<b>Total do BDI</b>								<b>0,00</b>	
<b>Total Geral</b>								<b>50.150,92</b>	

---

 Frederyco Busanello  
 Sócio/CEO/Proprietário

O orçamento do solo natural apresentado na tabela 19, teve os dados extraídos das tabelas 12 e 13, e totalizando um a valor total de R\$ 50.150,92 e um preço de R\$/m<sup>2</sup> 4,56.

#### **4.4.3 solo com Oxnix**

##### 4.4.3.1 solo com 1% Oxnix

Determinação da espessura do pavimento acima camada de subleito (Ht).

$$Ht = 77,67 * (7,28 * 10^5)^{0,0482} * 19,20^{-0,598}$$

$$Ht \cong 26 \text{ cm}$$

Determinação da espessura da camada de base (B).

$$1,2 * 0 + 1 * B \geq 26$$

$$B = 26 \text{ cm}$$

## 4.4.3.1.1 Orçamento

**TABELA 20 - ORÇAMENTO DO SOLO NATURAL COM 1% DE OXNIX.**Obra  
TCCBancos  
SINAPI - 09/2020 -  
TocantinsB.D.I.  
0,0%Encargos Sociais  
Desonerado: embutido nos  
preços unitário dos insumos de  
mão de obra, de acordo com as  
bases.

## Planilha Orçamentária Sintética

Item	Código	Banco	Descrição	Und	Quant.	Valor Unit	Valor Unit com BDI	Total	Peso (%)
<b>1</b>			<b>Terraplenagem</b>					<b>73.873,23</b>	<b>100,00 %</b>
1.1	74151/001	SINAPI	ESCAVAÇÃO E CARGA MATERIAL 1A CATEGORIA, UTILIZANDO TRATOR DE ESTEIRAS DE 110 A 160HP COM LAMINA, PESO OPERACIONAL * 13T E PA CARREGADEIRA COM 170 HP.	m³	3432	2,41	2,41	8.271,12	11,20 %
1.2	93592	SINAPI	TRANSPORTE COM CAMINHÃO BASCULANTE DE 14 M³, EM VIA URBANA EM REVESTIMENTO PRIMÁRIO (UNIDADE: M3XKM). AF_07/2020	M3XKM	3922,29	1,28	1,28	5.020,53	6,80 %
1.3	100577	SINAPI	REGULARIZAÇÃO E COMPACTAÇÃO DE SUBLEITO DE SOLO PREDOMINANTEMENTE ARENOSO. AF_11/2019	m²	11000	0,59	0,59	6.490,00	8,79 %
1.4	74151/001	SINAPI	ESCAVAÇÃO E CARGA MATERIAL 1A CATEGORIA, UTILIZANDO TRATOR DE ESTEIRAS DE 110 A 160HP COM LAMINA, PESO OPERACIONAL * 13T E PA CARREGADEIRA COM 170 HP.	m³	3603,6	2,41	2,41	8.684,67	11,76 %
1.5	95876	SINAPI	TRANSPORTE COM CAMINHÃO BASCULANTE DE 14 M³, EM VIA URBANA PAVIMENTADA, DMT ATÉ 30 KM (UNIDADE: M3XKM). AF_07/2020	M3XKM	4118,4	1,16	1,16	4.777,34	6,47 %
1.6	96387	SINAPI	EXECUÇÃO E COMPACTAÇÃO DE BASE E OU SUB BASE COM SOLO ESTABILIZADO GRANULOMETRICAMENTE - EXCLUSIVE ESCAVAÇÃO, CARGA E TRANSPORTE E SOLO. AF_09/2017	m³	4118,4	5,88	5,88	24.216,19	32,78 %
1.7	00000001	Próprio	Cal Hidratada, 15 KG	uni	22	18,79	18,79	413,38	0,56 %
1.8	00000002	Próprio	OXNIX, 20KG	uni	8	2.000,00	2.000,00	16.000,00	21,66 %
<b>Total sem BDI</b>								<b>73.873,23</b>	
<b>Total do BDI</b>								<b>0,00</b>	
<b>Total Geral</b>								<b>73.873,23</b>	

---

 Frederyco Busanello  
 Sócio/CEO/Proprietário

O orçamento do solo natural apresentado na tabela 20, teve os dados extraídos das tabelas 12 e 13, e totalizando um a valor total de R\$ 73.873,23, e um preço de R\$/m<sup>2</sup> 6,72.

#### 4.4.3.2 solo com 2% Oxnix

Determinação da espessura do pavimento acima camada de subleito (Ht).

$$Ht = 77,67 * (7,28 * 10^5)^{0,0482} * 22,40^{-0,598}$$

$$Ht \cong 24 \text{ cm}$$

Determinação da espessura da camada de base (B).

$$1,2 * 0 + 1 * B \geq 24$$

$$B = 24 \text{ cm}$$



## 4.4.3.2.1 Orçamento

**TABELA 21 - ORÇAMENTO DO SOLO NATURAL COM 2% DE OXNIX.**Obra  
TCCBancos  
SINAPI - 09/2020 -  
TocantinsB.D.I.  
0,0%Encargos Sociais  
Desonerado: embutido nos  
preços unitário dos insumos de  
mão de obra, de acordo com as  
bases.

Planilha Orçamentária Sintética									
Item	Código	Banco	Descrição	Und	Quant.	Valor Unit	Valor Unit com BDI	Total	Peso (%)
<b>1</b>			<b>Terraplenagem</b>					<b>85.952,45</b>	<b>100,00 %</b>
1.1	74151/001	SINAPI	ESCAVAÇÃO E CARGA MATERIAL 1A CATEGORIA, UTILIZANDO TRATOR DE ESTEIRAS DE 110 A 160HP COM LAMINA, PESO OPERACIONAL * 13T E PA CARREGADEIRA COM 170 HP.	m³	3168	2,41	2,41	7.634,88	8,88 %
1.2	93592	SINAPI	TRANSPORTE COM CAMINHÃO BASCULANTE DE 14 M³, EM VIA URBANA EM REVESTIMENTO PRIMÁRIO (UNIDADE: M3XKM). AF_07/2020	M3XKM	3620,57	1,28	1,28	4.634,32	5,39 %
1.3	100577	SINAPI	REGULARIZAÇÃO E COMPACTAÇÃO DE SUBLEITO DE SOLO PREDOMINANTEMENTE ARENOSO. AF 11/2019	m²	11000	0,59	0,59	6.490,00	7,55 %
1.4	74151/001	SINAPI	ESCAVAÇÃO E CARGA MATERIAL 1A CATEGORIA, UTILIZANDO TRATOR DE ESTEIRAS DE 110 A 160HP COM LAMINA, PESO OPERACIONAL * 13T E PA CARREGADEIRA COM 170 HP.	m³	3326,4	2,41	2,41	8.016,62	9,33 %
1.5	95876	SINAPI	TRANSPORTE COM CAMINHÃO BASCULANTE DE 14 M³, EM VIA URBANA PAVIMENTADA, DMT ATÉ 30 KM (UNIDADE: M3XKM). AF_07/2020	M3XKM	3801,6	1,16	1,16	4.409,85	5,13 %
1.6	96387	SINAPI	EXECUÇÃO E COMPACTAÇÃO DE BASE E OU SUB BASE COM SOLO ESTABILIZADO GRANULOMETRICAMENTE - EXCLUSIVE ESCAVAÇÃO, CARGA E TRANSPORTE E SOLO. AF 09/2017	m³	3801,6	5,88	5,88	22.353,40	26,01 %
1.7	00000001	Próprio	Cal Hidratada, 15 KG	uni	22	18,79	18,79	413,38	0,48 %
1.8	00000002	Próprio	OXNIX, 20KG	uni	16	2.000,00	2.000,00	32.000,00	37,23 %
<b>Total sem BDI</b>								<b>85.952,45</b>	
<b>Total do BDI</b>								<b>0,00</b>	
<b>Total Geral</b>								<b>85.952,45</b>	

---

 Frederyco Busanello  
 Sócio/CEO/Proprietário

O orçamento do solo natural apresentado na tabela 21, teve os dados extraídos das tabelas 12 e 13, e totalizando um a valor total de R\$ 85.952,45 e um preço de R\$/m<sup>2</sup> 7,81.

#### 4.4.3.3 com 3% Oxnix

Determinação da espessura do pavimento acima camada de subleito (Ht).

$$Ht = 77,67 * (7,28 * 10^5)^{0,0482} * 25,80^{-0,598}$$

$$Ht \cong 22 \text{ cm}$$

Determinação da espessura da camada de base (B).

$$1,2 * 0 + 1 * B \geq 22$$

$$B = 22 \text{ cm}$$

## 4.4.3.3.1 Orçamento

**TABELA 22 - ORÇAMENTO DO SOLO NATURAL COM 3% DE OXNIX.**Obra  
TCCBancos  
SINAPI - 09/2020 -  
TocantinsB.D.I.  
0,0%Encargos Sociais  
Desonerado: embutido nos  
preços unitário dos insumos de  
mão de obra, de acordo com as  
bases.

Planilha Orçamentária Sintética									
Item	Código	Banco	Descrição	Und	Quant.	Valor Unit	Valor Unit com BDI	Total	Peso (%)
<b>1</b>			<b>Terraplenagem</b>					<b>98.031,71</b>	<b>100,00 %</b>
1.1	74151/001	SINAPI	ESCAVAÇÃO E CARGA MATERIAL 1A CATEGORIA, UTILIZANDO TRATOR DE ESTEIRAS DE 110 A 160HP COM LAMINA, PESO OPERACIONAL * 13T E PA CARREGADEIRA COM 170 HP.	m³	2904	2,41	2,41	6.998,64	7,14 %
1.2	93592	SINAPI	TRANSPORTE COM CAMINHÃO BASCULANTE DE 14 M³, EM VIA URBANA EM REVESTIMENTO PRIMÁRIO (UNIDADE: M3XKM). AF_07/2020	M3XKM	3318,86	1,28	1,28	4.248,14	4,33 %
1.3	100577	SINAPI	REGULARIZAÇÃO E COMPACTAÇÃO DE SUBLEITO DE SOLO PREDOMINANTEMENTE ARENOSO. AF 11/2019	m²	11000	0,59	0,59	6.490,00	6,62 %
1.4	74151/001	SINAPI	ESCAVAÇÃO E CARGA MATERIAL 1A CATEGORIA, UTILIZANDO TRATOR DE ESTEIRAS DE 110 A 160HP COM LAMINA, PESO OPERACIONAL * 13T E PA CARREGADEIRA COM 170 HP.	m³	3049,2	2,41	2,41	7.348,57	7,50 %
1.5	95876	SINAPI	TRANSPORTE COM CAMINHÃO BASCULANTE DE 14 M³, EM VIA URBANA PAVIMENTADA, DMT ATÉ 30 KM (UNIDADE: M3XKM). AF_07/2020	M3XKM	3484,8	1,16	1,16	4.042,36	4,12 %
1.6	96387	SINAPI	EXECUÇÃO E COMPACTAÇÃO DE BASE E OU SUB BASE COM SOLO ESTABILIZADO GRANULOMETRICAMENTE - EXCLUSIVE ESCAVAÇÃO, CARGA E TRANSPORTE E SOLO. AF 09/2017	m³	3484,8	5,88	5,88	20.490,62	20,90 %
1.7	00000001	Próprio	Cal Hidratada, 15 KG	uni	22	18,79	18,79	413,38	0,42 %
1.8	00000002	Próprio	OXNIX, 20KG	uni	24	2.000,00	2.000,00	48.000,00	48,96 %
<b>Total sem BDI</b>								<b>98.031,71</b>	
<b>Total do BDI</b>								<b>0,00</b>	
<b>Total Geral</b>								<b>98.031,71</b>	

---

 Frederyco Busanello  
 Sócio/CEO/Proprietário

O orçamento do solo natural apresentado na tabela 22, teve os dados extraídos das tabelas 12 e 13, e totalizando um a valor total de R\$ 98.031,71 e um preço de R\$/m<sup>2</sup> 8,91.

#### 4.4.3.4 com 4% Oxnix

Determinação da espessura do pavimento acima camada de subleito (Ht).

$$Ht = 77,67 * (7,28 * 10^5)^{0,0482} * 19,20^{-0,598}$$

$$Ht \cong 20 \text{ cm}$$

Determinação da espessura da camada de base (B).

$$1,2 * 0 + 1 * B \geq 20$$

$$B = 20 \text{ cm}$$

## 4.4.3.4.1 Orçamento

**TABELA 23 - ORÇAMENTO DO SOLO NATURAL COM 4% DE OXNIX.**Obra  
TCCBancos  
SINAPI - 09/2020 -  
TocantinsB.D.I.  
0,0%Encargos Sociais  
Desonerado: embutido nos  
preços unitário dos insumos de  
mão de obra, de acordo com as  
bases.

Planilha Orçamentária Sintética									
Item	Código	Banco	Descrição	Und	Quant.	Valor Unit	Valor Unit com BDI	Total	Peso (%)
<b>1</b>			<b>Terraplenagem</b>					<b>110.747,19</b>	<b>100,00 %</b>
1.1	74151/001	SINAPI	ESCAVAÇÃO E CARGA MATERIAL 1A CATEGORIA, UTILIZANDO TRATOR DE ESTEIRAS DE 110 A 160HP COM LAMINA, PESO OPERACIONAL * 13T E PA CARREGADEIRA COM 170 HP.	m³	2904	2,41	2,41	6.998,64	6,32 %
1.2	93592	SINAPI	TRANSPORTE COM CAMINHÃO BASCULANTE DE 14 M³, EM VIA URBANA EM REVESTIMENTO PRIMÁRIO (UNIDADE: M3XKM). AF_07/2020	M3XKM	3017,14	1,28	1,28	3.861,93	3,49 %
1.3	100577	SINAPI	REGULARIZAÇÃO E COMPACTAÇÃO DE SUBLEITO DE SOLO PREDOMINANTEMENTE ARENOSO. AF 11/2019	m²	11000	0,59	0,59	6.490,00	5,86 %
1.4	74151/001	SINAPI	ESCAVAÇÃO E CARGA MATERIAL 1A CATEGORIA, UTILIZANDO TRATOR DE ESTEIRAS DE 110 A 160HP COM LAMINA, PESO OPERACIONAL * 13T E PA CARREGADEIRA COM 170 HP.	m³	2772	2,41	2,41	6.680,52	6,03 %
1.5	95876	SINAPI	TRANSPORTE COM CAMINHÃO BASCULANTE DE 14 M³, EM VIA URBANA PAVIMENTADA, DMT ATÉ 30 KM (UNIDADE: M3XKM). AF_07/2020	M3XKM	3168	1,16	1,16	3.674,88	3,32 %
1.6	96387	SINAPI	EXECUÇÃO E COMPACTAÇÃO DE BASE E OU SUB BASE COM SOLO ESTABILIZADO GRANULOMETRICAMENTE - EXCLUSIVE ESCAVAÇÃO, CARGA E TRANSPORTE E SOLO. AF 09/2017	m³	3168	5,88	5,88	18.627,84	16,82 %
1.7	00000001	Próprio	Cal Hidratada, 15 KG	uni	22	18,79	18,79	413,38	0,37 %
1.8	00000002	Próprio	OXNIX, 20KG	uni	32	2.000,00	2.000,00	64.000,00	57,79 %
<b>Total sem BDI</b>								<b>110.747,19</b>	
<b>Total do BDI</b>								<b>0,00</b>	
<b>Total Geral</b>								<b>110.747,19</b>	

---

 Frederyco Busanello  
 Sócio/CEO/Proprietário

O orçamento do solo natural apresentado na tabela 23, teve os dados extraídos das tabelas 12 e 13, e totalizando um a valor total de R\$ 110.747,19 e um preço de R\$/m<sup>2</sup> 10,07.

#### 4.4.3.5 com 5% Oxnix

Determinação da espessura do pavimento acima camada de subleito (Ht).

$$Ht = 77,67 * (7,28 * 10^5)^{0,0482} * 31,90^{-0,598}$$

$$Ht \cong 19 \text{ cm}$$

Determinação da espessura da camada de base (B).

$$1,2 * 0 + 1 * B \geq 19$$

$$B = 19 \text{ cm}$$

## 4.4.3.5.1 Orçamento

TABELA 24 - ORÇAMENTO DO SOLO NATURAL COM 5% DE OXNIX.

		Obra TCC	Bancos SINAPI - 09/2020 - Tocantins	B.D.I. 0,0%	Encargos Sociais Desonerado: embutido nos preços unitário dos insumos de mão de obra, de acordo com as bases.				
Planilha Orçamentária Sintética									
Item	Código	Banco	Descrição	Und	Quant.	Valor Unit	Valor Unit com BDI	Total	Peso (%)
<b>1</b>			<b>Terraplenagem</b>					<b>124.150,57</b>	<b>100,00 %</b>
1.1	74151/001	SINAPI	ESCAVAÇÃO E CARGA MATERIAL 1A CATEGORIA, UTILIZANDO TRATOR DE ESTEIRAS DE 110 A 160HP COM LAMINA, PESO OPERACIONAL * 13T E PA CARREGADEIRA COM 170 HP.	m³	2508	2,41	2,41	6.044,28	4,87 %
1.2	93592	SINAPI	TRANSPORTE COM CAMINHÃO BASCULANTE DE 14 M³, EM VIA URBANA EM REVESTIMENTO PRIMÁRIO (UNIDADE: M3XKM). AF_07/2020	M3XKM	2866,29	1,28	1,28	3.668,85	2,96 %
1.3	100577	SINAPI	REGULARIZAÇÃO E COMPACTAÇÃO DE SUBLEITO DE SOLO PREDOMINANTEMENTE ARENOSO. AF_11/2019	m²	11000	0,59	0,59	6.490,00	5,23 %
1.4	74151/001	SINAPI	ESCAVAÇÃO E CARGA MATERIAL 1A CATEGORIA, UTILIZANDO TRATOR DE ESTEIRAS DE 110 A 160HP COM LAMINA, PESO OPERACIONAL * 13T E PA CARREGADEIRA COM 170 HP.	m³	2633,4	2,41	2,41	6.346,49	5,11 %
1.5	95876	SINAPI	TRANSPORTE COM CAMINHÃO BASCULANTE DE 14 M³, EM VIA URBANA PAVIMENTADA, DMT ATÉ 30 KM (UNIDADE: M3XKM). AF_07/2020	M3XKM	3009,6	1,16	1,16	3.491,13	2,81 %
1.6	96387	SINAPI	EXECUÇÃO E COMPACTAÇÃO DE BASE E OU SUB BASE COM SOLO ESTABILIZADO GRANULOMETRICAMENTE - EXCLUSIVE ESCAVAÇÃO, CARGA E TRANSPORTE E SOLO. AF_09/2017	m³	3009,6	5,88	5,88	17.696,44	14,25 %
1.7	00000001	Próprio	Cal Hidratada, 15 KG	uni	22	18,79	18,79	413,38	0,33 %
1.8	00000002	Próprio	OXNIX, 20KG	uni	40	2.000,00	2.000,00	80.000,00	64,44 %
								<b>Total sem BDI</b>	<b>124.150,57</b>
								<b>Total do BDI</b>	<b>0,00</b>
								<b>Total Geral</b>	<b>124.150,57</b>

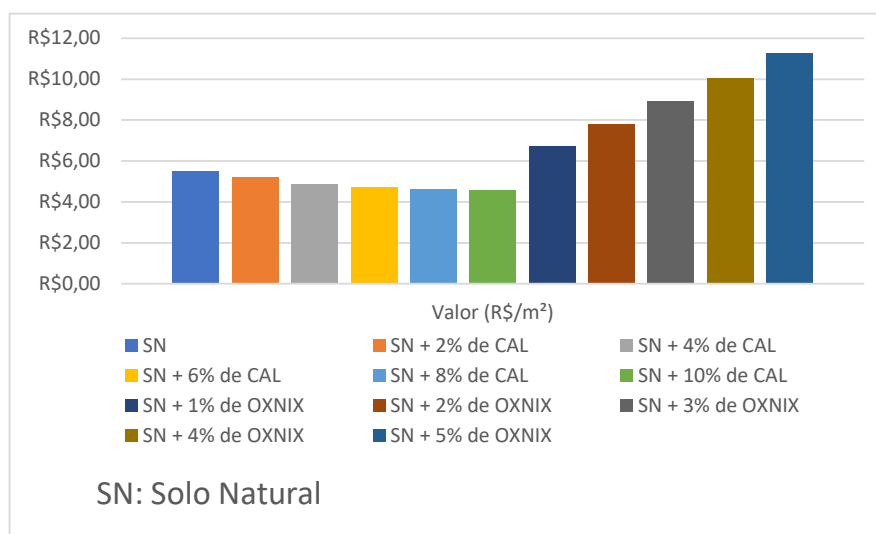
Frederico Busanello  
Sócio/CEO/Proprietário

O orçamento do solo natural apresentado na tabela 24, teve os dados extraídos das tabelas 12 e 13, e totalizando um a valor total de R\$ 124.150,57 e um preço de R\$/m<sup>2</sup> 11,29.

#### 4.4.4 Comparativo do preço unitário

Com o valor do preço por metro quadrado de cada orçamento foi realizado o gráfico 21 para se comparar qual dos orçamentos se tem o melhor custo benefício.

**GRÁFICO 21 - COMPARATIVO DO PREÇO UNITÁRIO DO M<sup>2</sup>.**



Ao observa o gráfico 20 pode se perceber que o solo com cal se tem valores inferiores ao solo natural, e o solo com Oxnix tem um valor superior chegando a ser 2 vezes mais caro que o solo natural quando utilizado a 5% do aditivo.

Essa variação de custo entre os aditivos ocorreu devido ao aditivo OXNIX ter um valor mais caro em comparado a Cal, e também pelo solo não ter a porcentagem mínima de argila desejada pelo fabricante que é em torno de 10%, assim o estabilizante não tendo sua capacidade máxima de desempenho.



## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo comparou as propriedades físicas e mecânicas do solo natural, solo natural + teores de cal e solo natural + teores de Oxnix, para avaliar o aumento da resistência do CBR, e realização de orçamento, com fim de se usar o subleito como material de base para a pavimentação de uma via urbana, de modo a utilizar uma das técnicas alternativas e que seja viável economicamente solucionando um problema de descarte de materiais não aproveitados e gastos excessivos com transporte.

Com os resultados dos ensaios de caracterização do solo natural indicaram que o solo apresenta características insatisfatórias para ser utilizada como camada de base de um pavimento, justificando assim o objetivo deste trabalho.

Com a adição dos teores de cal, verificou a eficiência na redução da expansão, também uma estabilização solo-cal e um aumento no CBR do solo. Uma vez que, em todas as dosagens de cal hidratada avaliadas houve o aumento a capacidade suporte.

Já com adição dos teores de Oxnix pode-se observar que houve eficiência na redução da expansão, também uma estabilização solo-cal e um aumento no CBR do solo, com intervalos inferiores, visto que o solo não tem porcentagem de argila suficiente para reagir com o aditivo, conforme recomendado pelo fabricante.

Os resultados indicaram também uma relação diretamente proporcional entre a dosagem de cal e a resistência do solo. Sendo que o melhor resultado obtido de CBR ocorreu na dosagem de 10% de cal, aumentando o CBR do solo natural de 18,2 para 41,5% mais que o dobro do valor do CBR do solo natural.

Observando os valores de CBR do solo natural com Oxnix, pode se afirmar que tem uma relação diretamente proporcional entre a dosagem de Oxnix e a resistência do solo. Sendo que o melhor resultado obtido de CBR ocorreu na dosagem de 5% de Oxnix, aumentando o CBR do solo natural de 18,2 para 31,9% praticamente dobrando o valor do CBR do solo natural.

Mesmo com as estabilizações o solo não se torna aceitável para utilização na base da pavimentação, aonde o CBR mínimo aceitável é de 60%, sendo necessário a utilização de um material da caixa de empréstimo.

No entanto, pode ser observado que a dosagem de 10% de cal apresenta um valor de R\$/m<sup>2</sup> de 4,56 reais, sendo mais viável que o solo natural que tem um valor de R\$/m<sup>2</sup> de 5,52 reais, sendo o mais vantajoso financeiramente. Visto que o solo estabilizado com o aditivo Oxnix teve valores superiores ao do solo natural, sendo que a porcentagem de 1% de Oxnix, tem um valor de R\$/m<sup>2</sup> de 6,72 reais, sendo 1,20 reais mais caro, visto que o solo tem uma porcentagem baixa de argila, sendo inferior a 10%, e de acordo com o fabricante e necessário mais de 20% de argila.

A mesma se mostrou insatisfatória quanto aos parâmetros de Índice de Suporte Califórnia, visto que a análise dos parâmetros foi feita para utilização do solo natural como camada de base da pavimentação.

É importante esclarecer que os resultados obtidos servem apenas para expressar a reação do Oxnix com o solo estudado, não sendo válida nenhuma conclusão a respeito da veracidade da atuação desse produto em outros tipos de solos. Sugerindo-se estudar o solo natural utilizado nesse trabalho com adição de outro solo argiloso, atingindo o teor de argila sugerido pelo fabricante.

## 6 REFERÊNCIAS

ARAÚJO, Marcelo Almeida; *et. al.* **Análise Comparativa de Métodos de Pavimentação – Pavimento Rígido (concreto) x Flexível (asfalto)**. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo Do Conhecimento. Ano 01, Edição 11, Vol. 10, pp. 187-196, novembro de 2016.

BERNUCCI, L.B. *et. al.* **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros**. 3 ed. Rio de Janeiro. PETROBRÁS: ABEDA. 2006.

BERTAZO, Igor Luiz. **Estudo do adensamento de um solo da formação Guabirotuba estabilizado com cal hidratada**. 2018. 95 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2018.

CORRÊA, Juliana F; MARCON, Antônio M; TRICHES, Glicério. **Melhoria das propriedades físicas e mecânicas de solos originados de rochas sedimentares pela adição de cal**. In: Congresso de Infraestrutura de Transportes (CONINFRA) 2009. São Paulo.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNER. **SOLOS – DETERMINAÇÃO DO LIMITE DE LIQUIDEZ – MÉTODO DE REFERÊNCIA E MÉTODO DE EXPEDITO**. DNER-ME, 2004.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE. DNIT. **MANUAL DE CUSTOS DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES**. Vol. 1. SICRO 3. DNIT, 2008.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE. DNIT. **Manual de Pavimentação**. 3ª. ed. Rio de Janeiro: DNIT, 2006.

GUIMARÃES, José Epitácio Passos. **A Cal – Fundamentos e Aplicações na Engenharia Civil**. 2. Ed. São Paulo: PINI, 2002

INGLES, O. G.; METCALF, J.B. **Soil Stabilization: principles and practices**. Sydney: Butterworths, 1972.

LAUFER, B. **Chinese Clay Figures, Part 1: Prolegomena on the History of Defensive Armor**. Kessinger Publishing: Whitefish, 1967.

LUNKES, Rogério J. **Manual de orçamento**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2007.

MARTINS, Gustavo. **COMO FAZER ORÇAMENTO DE OBRAS DE MANEIRA EFICIENTE**. Ed. 1. 2016.

MATTOS, Aldo Dórea. **COMO PREPARAR ORÇAMENTOS DE OBRAS**. São Paulo. Pini. 2006.

MEDINA, J.; MOTTA, L. M. G. **Apostila de estabilização de solos**. Rio de Janeiro: UFRJ, Escola de Engenharia: 2004.

PINHEIRO, J. S. **USO DE ESTABILIZANTE QUÍMICO DE SOLO: ESTUDO DE CASO EM RESIDENCIAL EM MACAPÁ**. Macapá. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Amapá. 2019.

PINTO, C.S. **Curso básico de mecânica dos solos**. São Paulo. Oficina de textos. 2000.

SENÇO, W. **Manual de técnicas de pavimentação**. Volume 1. 2 ed. São Paulo. PINI. 2007.

SENÇO, W. **Manual de técnicas de pavimentação**. Volume 2. 2 ed. São Paulo. PINI. 2007.

SOUSA, A.T. **Estudo de parâmetros de dois tipos de solos característicos do Distrito Federal estabilizados com cal**. 2013. 70 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Centro Universitário de Brasília - UniCEUB, Brasília, 2014.

TAVARES, L. R. S. et. al. **PAVIMENTAÇÃO URBANA: ORÇAMENTO E CUSTOS**. 1. ed. - Brasília: CONFEA/CREA, 2005.

VARGAS, Milton. **Introdução à Mecânica dos Solos**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1977.'