



CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIVATES
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

**PAVIMENTO COM BLOCOS INTERTRAVADOS DE CONCRETO:
ESTUDO DE CASO NA UNIVATES**

Paula Orvana Guimarães Wiebbelling

Lajeado, novembro de 2015

Paula Orvana Guimarães Wiebbelling

**PAVIMENTO COM BLOCOS INTERTRAVADOS DE CONCRETO:
ESTUDO DE CASO NA UNIVATES**

Monografia apresentada na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso – Etapa II, na linha de formação específica em Engenharia Civil, do Centro Universitário UNIVATES, como parte da exigência para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. João Rodrigo Guerreiro Mattos

Lajeado, novembro de 2015

Paula Orvana Guimarães Wiebbelling

**PAVIMENTO COM BLOCOS INTERTRAVADOS DE CONCRETO:
ESTUDO DE CASO NA UNIVATES**

A Banca examinadora abaixo aprova o Trabalho de Conclusão apresentado na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso – Etapa II, na linha de formação específica em Engenharia Civil, do Centro Universitário UNIVATES, como parte da exigência para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil:

Prof. Dr. João Rodrigo G. Mattos – orientador
Centro Universitário UNIVATES

Prof. Me. João Paulo Cardoso Joaquim
Centro Universitário UNIVATES

Eng. Civil Luciano Faustino da Silva
Superintendente da 11ª Superintendência
Regional DAER - Lajeado

Lajeado, novembro de 2015

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Paulo Orvan Wiebbelling e Lisane Guimarães Wiebbelling, pelo carinho, amor e pelos seus ensinamentos;

Ao meu irmão, Rafael Orvan Wiebbelling, pelo apoio e incentivo;

Ao meu namorado, Felipe Gallas, pelo apoio, por estar sempre ao meu lado e por me fazer acreditar que sou capaz;

Ao meu professor orientador, Dr. João Rodrigo Guerreiro Mattos, pela atenção, disponibilidade, paciência e pelo conhecimento repassado;

Aos demais familiares, que presenciaram todo meu esforço e minha dedicação me ajudando no que fosse preciso; e

Aos professores da Univates, por transferirem seus conhecimentos.

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo analisar o dimensionar de um pavimento com blocos intertravados de concreto para o estacionamento do prédio 16 do Centro Universitário Univates, localizado na Cidade de Lajeado-RS. Inicialmente, foram realizados ensaios laboratoriais para caracterizar e classificar o solo do local de estudo. O ensaio de limite de liquidez realizado para verificar o teor de umidade no ponto de transição do estado plástico para o estado líquido resultou em 48%, o ensaio de limite de plasticidade resultou em 33% de teor de umidade e, por consequência, o índice de plasticidade foi igual a 15%. No ensaio de peneiramento 61,98% da amostra do solo passou na peneira com abertura de 0,075mm (peneira n.º200), constatando que o material que compõe o solo é predominantemente fino. Com os resultados encontrados nos ensaios supracitados, foi possível classificar o solo do subleito, através do sistema da AASHTO, como um solo argiloso (A-7-5), portanto, com um comportamento ruim para subleito. No ensaio de compactação (Proctor normal) realizado com o solo, obteve-se o valor de 30,25% como umidade ótima para compactação e o resultado médio de Índice de Suporte Califórnia (ISC) de 11,25%. Com os blocos intertravados de concreto, foram realizados ensaios de absorção de água e resistência à compressão, o ensaio de absorção de água está em conformidade com a norma, pois os blocos não atingiram valores maior que 7%, no entanto, no ensaio de resistência à compressão, dois dos nove blocos ensaiados não atingiram o valor de resistência mínima exigida pela norma, que é de 35 MPa. Após analisar os resultados dos ensaios e ter conhecimento do número de veículos comerciais que tem acesso ao prédio 16, estimou-se o número N para um período de 10 anos, resultando em $1,09 \times 10^5$ passagens equivalentes do eixo padrão. Com os valores do ISC e do número N, dimensionou-se o pavimento intertravado, conforme Estudo Técnico da ABCP, obtendo-se os valores de 10 centímetros de brita graduada, 5 centímetros de areia para assentamento dos blocos e blocos intertravados de concreto com espessura de 8 centímetros. Por fim, foi analisado o pavimento dimensionado e acredita-se que, com base nas observações em campo, o pavimento dimensionado não seria suficiente para impedir deformações, pois o subleito do local de estudo é muito ruim.

Palavras-chave: Pavimento. Dimensionamento. Blocos intertravados de concreto.

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AASHTO American Association of State Highway and Transportation officials

CBR Califórnia Bearing Ratio

FC Fator de carga

FE Fator de eixo

FV Fator de veículo

IP Índice de Plasticidade

ISC Índice de Suporte Califórnia

LL Limite de Liquidez

LP Limite de Plasticidade

MPa Megapascals

N Eixo padrão

SPT Standard Penetration Test

VM volume diário médio

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Via Ápia: pavimentação com pedras aparelhadas em forma octogonal ...	16
Figura 2 – Rua de Paraty-RJ: pavimentada com pedras pé-de-moleque.....	18
Figura 3 – Estrutura do pavimento com blocos intertravados de concreto	21
Figura 4 – Faixa granulométrica recomendada para a camada de assentamento	23
Figura 5 – Assentamento manual de blocos intertravados	24
Figura 6 – alguns modelos de configuração para o assentamento	26
Figura 7 – Formatos dos blocos intertravados de concreto.....	27
Figura 8 – Efeito relativo de diversas cargas por eixo simples.....	32
Figura 9 – Espessura necessária de sub-base	33
Figura 10 – Espessura necessária de base (concreto rolado ou solo-cimento)	34
Figura 11 – Localização de Lajeado-RS e do Centro Universitário Univates	38
Figura 12 – Amostra de solo.....	39
Figura 13 – Resultado do ensaio de SPT.....	40
Figura 14 – Assentamento dos blocos	40
Figura 15 – Pavimento executado na Univates	41
Figura 16 – Ensaio limite de liquidez	42
Figura 17 – Ensaio limite de plasticidade	44
Figura 18 – Ensaio de Peneiramento	46
Figura 19 – Ensaio de compactação	47
Figura 20 – Ensaio de Índice de Suporte Califórnia	49
Figura 21 – Capeamento dos blocos e ensaio de resistência a compressão.....	50
Figura 22 – Blocos submersos na água	51
Figura 23 – Resultados ensaios de limite de liquidez (LL)	52
Figura 24 – Resultados dos ensaios de peneiramento	54
Figura 25 – Sistema para classificação de solos da AASHTO	55
Figura 26 – Curva de Compactação (Proctor Normal)	56
Figura 27 – Espessura necessária de sub-base	61
Figura 28 – Espessura necessária de base	62
Figura 29 – Seção tipo do pavimento dimensionamento.....	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resistência característica à compressão.....	49
Tabela 2 – Resultados dos ensaios de limite de liquidez	53
Tabela 3 – Resultados dos ensaios de limite de plasticidade.....	53
Tabela 4 – Resultados do ensaio de compactação proctor	56
Tabela 5 – Resultados dos ensaios de ISC.....	57
Tabela 6 – Resultados do ensaio de resistência a compressão	57
Tabela 7 – Resultado do ensaio de absorção de água.....	58
Tabela 8 – Número de veículos por dia que acessam o prédio 16	58
Tabela 9 – Fator de Veículo para cada tipo de veículo	59
Tabela 10 – Valor de Fator de Veículo para a frota.....	60

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
1.1 Objetivos	11
1.1.1 Objetivo Geral	11
1.1.2 Objetivo Específico	11
1.2 Justificativa e Importância da Pesquisa.....	12
1.3 Limitações da Pesquisa.....	12
1.4 Estrutura do Trabalho	12
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	14
2.1 Histórico da Pavimentação.....	14
2.2 Blocos Intertravados de Concreto	19
2.3 Características dos Blocos Intertravados de Concreto	20
2.4 Estrutura de Pavimentos com Blocos Intertravados de Concreto	21
2.5 Intertravamento dos Blocos	25
2.6 Modelo de Assentamento	25
2.7 Formato dos Blocos Intertravados	27
2.8 Equipamentos Para a Fabricação	27
2.9 Materiais Utilizados Para Fabricação	29
2.9.1 Cimento Portland	29
2.9.2 Agregado Graúdo	30
2.9.3 Agregado Miúdo	30
2.9.4 Água	31
2.10 Dimensionamento	31
2.11 Conceito do Solo	34
2.12 Classificação do Solo	35
2.12.1 Solos Coesivos.....	35
2.12.2 Solos Não Coesivos	36
2.13 Índices Físicos do Solo.....	36
3 MATERIAIS E MÉTODOS	38
3.1 Materiais.....	38
3.1.1 Locação.....	38
3.1.2 Formação do Solo	39

3.1.3 Características dos Blocos	40
3.1.4 Projeto de Pavimento do Centro Universitário Univates	41
3.2 Métodos.....	41
3.2.1 Ensaios Para a Caracterização do Solo	41
3.3 Limites de Atterberg.....	41
3.3.1 Limite de Liquidez (LL)	41
3.3.2 Limite de Plasticidade (LP).....	43
3.3.3 Índice de Plasticidade (IP)	44
3.4 Granulometria.....	45
3.4.1 Análise Granulométrica	45
3.4.1.1 Peneiramento.....	46
3.5 Ensaio de Compactação (Proctor)	46
3.6 Índice de Suporte Califórnia.....	48
3.7 Ensaio de Resistência à Compressão	49
3.8 Ensaio de Absorção de água.....	50
 4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	 52
4.1 Limites de Atterberg.....	52
4.1.1 Limite de Liquidez (LL)	52
4.2 Limite de Plasticidade (LP).....	53
4.2.1 Índice de Plasticidade (IP)	54
4.3 Granulometria por Peneiramento	54
4.4 Classificação do Solo	55
4.5 Ensaio de Compactação (Proctor)	56
4.6 Índice de Suporte Califórnia.....	57
4.7 Ensaio de Resistência à Compressão	57
4.8 Ensaio de Absorção de Água	58
4.9 Dimensionamento do Pavimento	58
4.9.1 Número N	58
4.9.2 Espessura Necessária da Sub-base	61
4.9.3 Espessura Necessária da Base.....	61
4.9.4 Seção- tipo do Pavimento Dimensionado	62
 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	 64
 REFERÊNCIAS.....	 66
 ANEXOS	 69
ANEXO A – Resultados do ensaio de ISC 1	70
ANEXO B – Resultados do ensaio de ISC 2	71
ANEXO C – Resultados ensaio de resistência à compressão.....	72

1 INTRODUÇÃO

A utilização de blocos intertravados de concreto para pavimentação surgiu no final do século XIX, porém o avanço no uso deste tipo de pavimento ocorreu após a Segunda Guerra Mundial. No período de 1990, os blocos que eram comuns na Europa tiveram espaço no Brasil, tanto em vias quanto em calçamentos.

Atualmente, a utilização de blocos intertravados de concreto para pavimentação vem crescendo, sendo utilizados principalmente em parques, praças, calçadas, ruas e pátios. O avanço da utilização de blocos intertravados é devido às suas características, entre elas estão o baixo custo de manutenção, remoção da área pavimentada e reutilização de aproximadamente 95% das peças. Após a execução da pavimentação o tráfego de pessoas e veículos é imediato, não há necessidade de aguardar o tempo de cura; a mão de obra não precisa ser especializada, facilidade de assentamento das peças e possui uma diversidade de cores e formatos.

A estrutura do pavimento vai depender da intensidade do tráfego sobre o pavimento e das características do solo que compõe o subleito. A estrutura deste tipo de pavimento pode ser composta pelas seguintes camadas: subleito, sub-base, base, camada de assentamento e camada de rolamento.

Os blocos intertravados podem variar de espessura, entre 6 cm e 10 cm. As peças de 6 cm são usadas onde o tráfego é leve, como por exemplo calçadas de passeio e praças, em ruas, onde o tráfego é mais intenso são utilizados blocos de 8 cm e os de 10 cm são usados onde o tráfego é muito pesado.

Os blocos intertravados de concreto são resistentes aos movimentos de deslocamento individual, seja ele vertical, horizontal, de rotação ou de giração, em relação as suas peças vizinhas. Para possuir a resistência necessária para suportar aos esforços, a superfície das peças deve ter uma microtextura capaz de torná-las lisas e resistentes ao desgaste. Para garantir o intertravamento entre as peças, as suas dimensões devem ser bem definidas para que os espaços entre as juntas sejam pequenos.

Embora a execução dos pavimentos com blocos intertravados de concreto seja uma atividade amplamente difundida e comumente empregada, existe muita carência quanto a estudos mais atuais sobre o tema. Em geral, nota-se na prática de engenharia que os projetos deste tipo de pavimento não são exclusivamente técnicos, inclusive em muitos casos nem mesmo sendo executados ensaios para caracterizar os materiais empregados.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

O presente Trabalho de Conclusão de Curso tem como objetivo realizar o dimensionamento de um pavimento com blocos intertravados de concreto no Centro Universitário Univates, na cidade de Lajeado-RS.

1.1.2 Objetivo Específico

- ✓ Coletar amostras do solo que serão utilizadas no estudo;
- ✓ Determinar as características do solo, através dos ensaios de Limite de Liquidez, Limite de Plasticidade, Granulometria, Compactação e ISC;
- ✓ Determinar a absorção de água dos blocos intertravados de concreto; e
- ✓ Determinar a resistência à compressão dos blocos intertravados de concreto.

1.2 Justificativa e Importância da Pesquisa

O dimensionamento de um pavimento consiste basicamente na adequada escolha dos materiais empregados, bem como na definição da espessura necessária de cada camada que o compõe. O dimensionamento deve levar em consideração os aspectos necessários para garantir que o pavimento atenda satisfatoriamente aos usuários durante o período para o qual foi projetado. Uma inadequada concepção de projeto pode ocasionar recorrentes atividades de manutenção e até mesmo restauração em pequenos intervalos de tempo. Por tal motivo, visando que o projeto de pavimentação seja adequado, deve-se realizar uma aprofundada caracterização do comportamento dos materiais para que o pavimento executado suporte as cargas impostas pelo tráfego e distribua bem as tensões no seu interior.

1.3 Limitações da Pesquisa

A pesquisa limita-se a avaliar apenas o pavimento próximo ao prédio 16 da Univates, do qual foi estudado apenas o solo do subleito e os blocos intertravados de concreto.

1.4 Estrutura do Trabalho

1º Capítulo – Introdução

Este capítulo faz uma apresentação geral sobre o trabalho, justificativa da pesquisa e o objetivo da mesma.

2º Capítulo – Referencial Teórico

No capítulo 2 é apresentada a revisão bibliográfica, onde consta um breve histórico sobre os blocos intertravados de concreto, os materiais e equipamentos utilizados para sua fabricação, as características e como deve ser feito o dimensionamento de pavimentos com os blocos intertravados de concreto.

3º Capítulo – Materiais e Métodos

O terceiro capítulo aborda a metodologia utilizada, inicialmente apresenta a localização onde foi feito o estudo e as características deste local, posteriormente relata os ensaios realizados.

4º Capítulo – Apresentação e Análise dos Resultados

O quarto capítulo refere-se à apresentação e análise dos resultados. Inicialmente o capítulo apresenta os resultados dos ensaios realizados com o solo, em seguida os resultados dos ensaios com os blocos intertravados de concreto e por fim, o dimensionamento do pavimento.

5º Capítulo – Conclusão

O quinto capítulo vai apresentar as considerações finais, conclusões e sugestões de trabalhos futuros.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Histórico da Pavimentação

Conforme Fioriti (2007) com o passar dos anos, os povos sentiram a necessidade de construir caminhos, atalhos e estradas, com o intuito de vencer as grandes distâncias que existiam entre diferentes povoados, para então conseguir estabelecer uma comunicação entre eles.

Os povos Etruscos são considerados os pioneiros na construção de caminhos para fins de transporte de cargas e de pessoas entre as vilas e colônias, este povo dominou a Itália no período de 800 a 350 a.C. Os Etruscos utilizaram técnicas para ligar grandes distâncias, as ruas das cidades podiam chegar a 15 metros de largura e eles tinham preocupação com o conforto, por esse motivo utilizaram materiais disponíveis na época para dar um acabamento plano a superfície. Nos revestimentos dos caminhos eram adicionadas pedras de mão, juntamente com um material mais fino, com o objetivo de proporcionar maior segurança para a população na presença de água na superfície (CRUZ, 2003).

Os Romanos herdaram muitos conhecimentos dos Etruscos, contribuindo para a expansão do seu império. Os caminhos romanos foram construídos conforme a disponibilidade de materiais, clima e topografia, e eram construídos de acordo com a sua importância.

Os revestimentos normalmente eram feitos com solos arenosos, misturado com pedras naturais, nas ruas mais movimentadas eram utilizadas pedras talhadas manualmente. Em 500 a.C, Roma havia desenvolvido pavimentos com bases

granulares e camada de rolamento de pedra.

A grande parte dos caminhos construídos foi motivado pela necessidade de transportar os exércitos com rapidez para qualquer parte do território, relata Fioriti (2007).

Segundo Cruz (2003) na Inglaterra, anteriormente conhecida como região da “Bretanha” os caminhos construídos tinham particularidades diferentes. Os povos que viviam nesta região eram chamados de “Britons” e eram classificados como hostis, por esse motivo eram construídos aterros sobre o terreno original, para ter maior visibilidade contra possíveis ataques dos “Britons”. Para aterrar o local, eram retirados materiais dos dois lados dos caminhos, formando canais em toda a extensão, que serviriam de drenagem natural.

Ainda conforme Cruz (2003) famosas ruas da Idade Média, foram construídas pelos Romanos no ano de 1887, como por exemplo, a Watling Street, Ermine Street e Fosse Way Street. Nas escavações efetuadas, foram identificadas estruturas constituídas de três ou quatro camadas de materiais de diferentes espessuras e granulometrias. Para a construção dos caminhos, os romanos classificavam os tipos de areia, como as de rio, as extraídas dos canais e a do solo natural. Eles misturavam os três tipos de areia juntamente com cal ou calcário, formando uma argamassa e em seguida era inserido o seixo rolado ou pedras de mão espalhadas sobre o caminho. Já se via uma preocupação com a capacidade estrutural das camadas. Na cidade Italiana de “Puzzeoli”, em 150 a.C, foi encontrado um material conhecido como “puzzolana”, este material usado juntamente com areia e cal tornava a mistura ainda mais resistente, isto evoluiu para o que atualmente chamamos de cimento portland.

Com a história dos caminhos romanos é possível saber a importância que as pedras talhadas tinham, pois serviam para revestimento final de uma via. Um dos exemplos que existe até os tempos atuais é a via Ápia, que ligava a cidade de Roma até o sul da Itália. A via foi pavimentada por construtores da época e a maior parte de sua extensão foi feita com pequenas peças de pedras aparelhadas em forma octogonal (CRUZ, 2003).

Ao decorrer dos anos, com o aumento da população e consequentemente do

comércio, foi necessário utilizar mais camadas de revestimentos, para suportar as cargas.

Figura 1 – Via Ápia: pavimentação com pedras aparelhadas em forma octogonal



Fonte: Olhares Fotografia (texto digital).

As peças utilizadas para pavimentação eram conforme a disponibilidade dos materiais, aliada às técnicas executivas do local. O processo de desenvolvimento dos tipos de peças para pavimentação pode ser descrito em quatro tipos de materiais: blocos de tijolos de argila, pedras talhadas, blocos de tijolos de madeira e pré-moldados de concreto.

Os primeiros relatos do uso de betume em pavimentação e tijolos de argila em revestimento foi há aproximadamente 5.000 anos, na Mesopotâmia. Os tijolos eram colocados sobre uma camada de betume com a finalidade de proporcionar aderência ao tijolo, apesar disso, os tijolos não tinham grande resistência, em consequência ao desgaste superficial causado pela ação do tráfego.

Os primeiros fornos que queimavam os tijolos em temperaturas elevadas,

surgiram no final do século XIX, e com isso aumentou a durabilidade dos tijolos, passando a ser muito utilizado na Europa e na América (MULLER, 2005).

Desde de 1940 a cidade brasileira de Rio Branco, capital do Acre, utiliza blocos de tijolos de argila para pavimentação de suas ruas, em razão da disponibilidade de material para produção de tijolos cerâmicos e a ausência de pedras na região. O assentamento dos blocos de tijolos é feito diretamente sobre um aterrado antecipadamente preparado, oferecendo uma superfície que proporciona segurança ao rolamento e resistência a infiltração de água. Para os blocos terem boa resistência à compressão e ao desgaste é necessário que a matéria-prima utilizada para sua fabricação apresente alto valor de resistência à compressão, para que quando preparada e queimada, continue resistente (FUNTAC, 1997 apud JUNIOR, 2007).

Consoante Cruz (2003) os romanos tiveram preferência ao revestimento de pedras talhadas, pois apresentavam grande resistência ao desgaste, no entanto sua utilização dependia da disponibilidade de materiais. No século XVIII, já se tinha preocupação em manter as juntas estreitas entre as peças, foi neste mesmo período que surgiram os modelos de assentamento em fileiras ou tipo espinha de peixe. No século XX, para atenuar o barulho causado pelo tráfego, foi iniciada a prática de selar as juntas com argamassa de cimento ou com uma mistura de asfalto e areia. Este tipo de pavimento no Brasil é conhecido por paralelepípedos ou paralelos e pé de moleque. Os paralelepípedos ou paralelos são muito utilizados nos dias de hoje, em cidades do interior do país ou em baias de ônibus de cidades grandes. As peças têm aproximadamente 12 cm de largura, 20 cm de comprimento e 20 cm de altura e seu assentamento é sobre a areia com juntas de até 2 cm entre as peças. As peças pé de moleque foram trazidas pelos portugueses por volta de 1600, elas são irregulares, com dimensões de até 50 cm e são mais antigas que o paralelepípedo. Os portugueses construíram essas estradas para facilitar o transporte do ouro que era explorado nas cidades de Tiradentes, São João Del Rey e Ouro Preto, em Minas Gerais e levado até a cidade de Paraty no Rio de Janeiro, para posterior embarque nos navios que levavam a Portugal.

Figura 2 – Rua de Paraty-RJ: pavimentada com pedras pé-de-moleque



Fonte: WIKIPEDIA – História de Paraty (texto digital).

Ainda de acordo com Cruz (2003), os revestimentos com peças de madeira surgiram no século XIX, para diminuir o ruído gerado pelas carruagens, equipadas com rodas de ferro. As peças de madeira tinham em média dimensões entre 125mm e 250mm de comprimento e 75 e 100mm de largura.

Mesmo que os pavimentos de madeira diminuíssem o ruído causado pelo tráfego eles eram lisos quando molhados. Este tipo de pavimento foi abandonado após o surgimento de automóveis com pneus de borracha.

Outro material utilizado para pavimentação são as peças pré-moldadas de concreto, conforme Godinho (2009) as primeiras peças foram fabricadas no final do século XIX e algumas patentes foram registradas antes da primeira Guerra Mundial. Após a Segunda Guerra Mundial os blocos intertravados tiveram um avanço na Holanda e Alemanha, pois foi um período de reconstrução. Inicialmente as peças de concreto eram semelhantes aos tijolos, sua única vantagem era o custo reduzido e a homogeneidade dimensional. Com o passar dos anos, por volta de 1950, as peças foram sendo aprimoradas, surgindo outros modelos e formatos.

Godinho (2009) relata, ainda, que as vantagens para o assentamento das peças eram percebidas facilmente, permitindo a utilização correta da mão de obra pouco especializada. Com o avanço da pavimentação foi possível relacionar a escolha da forma geométrica com o desempenho do pavimento, de acordo com o tipo de tráfego. Em torno dos anos 1960, os pavimentos intertravados já estavam consolidados nas Américas Central e do Sul, África do Sul e grande parte dos países europeus.

No final de 1970, aumentou sua utilização nos Estados Unidos, Austrália, Nova Zelândia e Japão. A fabricação dos pavimentos pré-moldados de concreto teve um avanço no mundo todo no final da década de 1970, onde pelo menos 200 tipos de formas e uma variedade de equipamentos para fabricação foram comercializados (CRUZ, 2003). Segundo Smith (2003 apud GODINHO, 2009), em 1980, a fabricação anual já ultrapassava 45 milhões de metros quadrados, sendo que mais da metade eram utilizados em vias de tráfego urbano. No final da década de 1990, a produção chegou a 100 metros quadrados por segundo durante os dias úteis de trabalho.

Desde 1980, a pavimentação com blocos intertravados de concreto vem crescendo em grandes proporções no mundo todo. Ele é utilizado em qualquer tipo de ambiente, pois possibilita uma harmonização tanto esteticamente como estruturalmente. Na década de 1990, os blocos, que eram comuns na Europa tiveram espaço no Brasil, tanto em vias quanto em calçamentos. O equilíbrio entre aspectos ambientais, tecnológicos e econômicos, é o fator que determinou o amplo desenvolvimento desse sistema prático e confiável (FIORITI, 2007).

2.2 Blocos Intertravados de Concreto

Os blocos de concreto são também conhecidos como *Pavers* e *Paviess*. São blocos intertravados, pré-fabricados, maciços e que permitem pavimentar completamente uma superfície. O intertravamento é a capacidade que o material tem de resistir aos movimentos de deslocamento individual, seja vertical, horizontal, de rotação ou giração em relação às peças adjacentes (FIORITI, 2007). Os *pavers* estão conquistando espaço em todo o país, pois as empresas que trabalham nesse ramo argumentam as vantagens que o sistema oferece.

2.3 Características dos Blocos Intertravados de Concreto

Os blocos se destacam por suas vantagens, dentre elas estão à facilidade no assentamento, a liberação da pavimentação para o tráfego rapidamente, a acessibilidade às redes subterrâneas e a praticidade na manutenção.

De acordo com Fioriti (2007), se for seguido alguns requisitos básicos, como uma sub-base bem executada, blocos de qualidade e assentamento correto, um pavimento de *pavers* pode chegar a 25 anos de vida útil.

Além das vantagens que este material possui, ele se destaca pela sua eficiência ambiental, pois existe a possibilidade de usar resíduos em sua composição e o bloco é semipermeável, contribuindo na drenagem urbana.

Atualmente é possível encontrar uma grande diversidade de modelos, tamanhos e cores de blocos.

Propriedades dos blocos de concreto, conforme Junior (2007):

- Apresentam menor absorção da luz solar, evitando, o desconforto da elevação exagerada da temperatura ambiente;
- Podem ter, simultaneamente, capacidade estrutural e valor paisagístico;
- Permite fácil reparação quando ocorre recalque no subleito que comprometa a capacidade estrutural do pavimento;
- Possibilita fácil acesso a serviços subterrâneos, e o reparo não deixa marcas visíveis;
- Os blocos podem ser reutilizados;
- Não necessita mão-de-obra especializada;
- Os materiais chegam até a obra prontos para a aplicação;
- Liberação rápida do tráfego, logo após a conclusão.

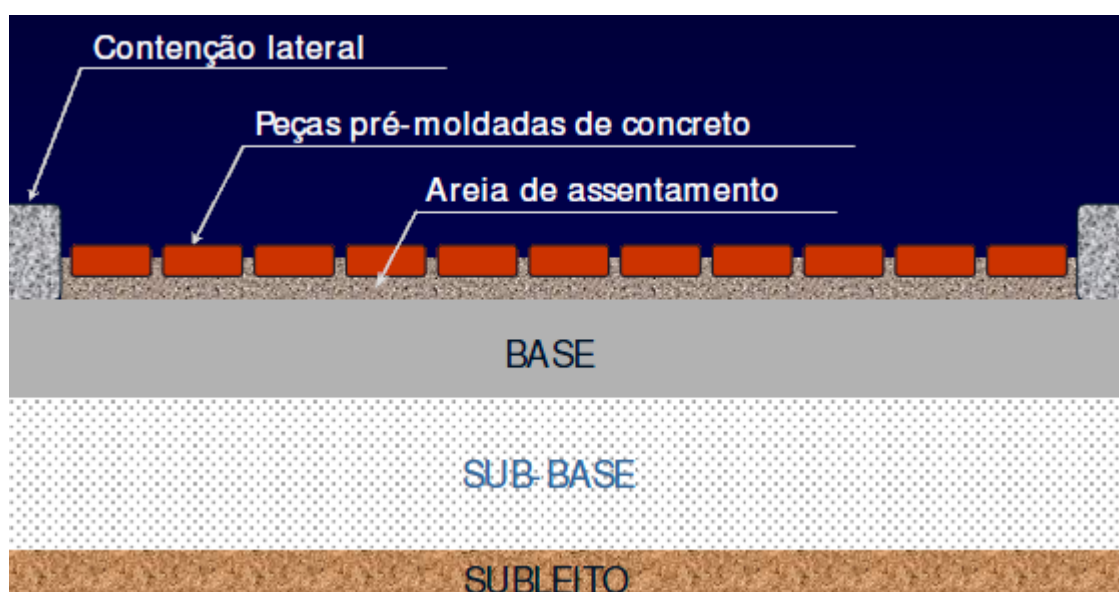
2.4 Estrutura de Pavimentos com Blocos Intertravados de Concreto

Conforme Senço (1997 apud D'AGOSTINI, 2010), o pavimento é a estrutura construída sobre a terraplenagem e destinada, econômica, técnica e simultaneamente a:

- a) resistir e distribuir os esforços verticais oriundos do tráfego;
- b) melhorar as condições de rolamento quanto ao conforto e segurança;
- c) resistir aos esforços horizontais (desgaste), tornando mais durável a superfície de rolamento.

A estrutura do pavimento intertravado caracteriza-se pelo revestimento em blocos, com alta durabilidade e resistência, assentados sobre uma camada de areia, a base, a sub-base e o subleito. O revestimento e a areia de assentamento são contidos lateralmente, em geral, por meio-fio. E o rejuntamento entre os blocos é feito com areia. A Figura 3 mostra uma seção transversal típica do pavimento com blocos intertravados de concreto

Figura 3 – Estrutura do pavimento com blocos intertravados de concreto



Fonte: ABCP (2001).

As espessuras das camadas do pavimento intertravado, dependem das seguintes características:

- Intensidade do tráfego que circulará sobre o pavimento;
- Características do terreno de fundação;
- Qualidade dos materiais constituintes das demais camadas.

A seguir serão descritas as características básicas de cada um destes elementos:

a) Subleito

O subleito (estrutura final de terraplenagem sobre a qual será executado o pavimento) deve estar regularizado e compactado, na altura do projeto, antes da colação das camadas posteriores. O subleito será considerado concluído para receber uma base ou sub-base quando sua capacidade portante, comumente expressa pelo Índice de Suporte Califórnia (ISC), for igual ou maior do que 2% e ter expansão volumétrica $\leq 2\%$ ou conforme for especificado em projeto. O objetivo é proporcionar uma plataforma de trabalho firme, sobre a qual a sub-base e a base possam ser compactadas (CARVALHO, 1998).

b) Sub-base

Conforme Fioriti (2007) a sub-base pode ser granular, solo escolhido, solo-brita ou tratado com aditivos, como por exemplo solo melhorado com cimento Portland. O material da sub-base também será definido pelo valor de ISC mínimo necessário.

c) Base

A base é a camada que recebe as tensões distribuídas pela camada de revestimento e tem como função principal proteger estruturalmente o subleito das cargas externas, evitando deformações e deterioração do pavimento intertravado (CRUZ, 2003).

d) Camada de assentamento

A camada de assentamento tem como objetivo servir de base para o assentamento dos blocos e proporcionar uma superfície regular onde possam colocar os blocos e acomodar suas eventuais tolerâncias dimensionais (CRUZ, 2003).

Conforme Hallack (1998 apud MÜLLER, 2005) a camada de revestimento possui função estrutural devido à rigidez do concreto e também ao sistema de intertravamento dos blocos, no entanto existe uma pequena deformação no pavimento intertravado no início de sua utilização oriunda da acomodação inicial da camada de assentamento.

Carvalho (1998), relata que no Brasil a camada de assentamento dos blocos será sempre composta de areia, contendo no máximo 5% de silte e argila (em massa) e, no máximo 10% do material retido na peneira de abertura de malha 4,8mm. É recomendado o enquadramento da areia na faixa granulométrica mostrada na Figura 4.

Figura 4 – Faixa granulométrica recomendada para a camada de assentamento

Abertura da peneira (mm)	% Passada
	Camada de assentamento
9,50	100
4,80	95 – 100
1,20	50 – 85
0,60	25 – 60
0,30	10 – 30
0,15	5 – 15
0,075	0 – 10

Fonte: CARVALHO (1998).

A forma dos grãos de areia utilizada interfere diretamente no comportamento e na deformação do pavimento intertravado, porque as partículas angulares têm maior coeficiente de atrito, o que provoca melhor distribuição dos esforços.

e) Blocos de concreto intertravado – Camada de rolamento

A camada de rolamento possui três etapas de execução, a primeira é o assentamento dos blocos, a segunda é o acabamento junto das bordas e meios fios ou qualquer outro tipo de interrupção na pavimentação intertravada e a terceira e última etapa é a vibração sobre os blocos na área já executada.

De acordo com Carvalho (1998), o assentamento dos blocos intertravados deve ser realizado evitando qualquer deslocamento das peças já assentadas e irregularidades na camada de assentamento. O colocador deve assentar bloco por bloco, de modo que encoste o novo bloco nos já colocados e movimente-o verticalmente para baixo até encosta-lo na camada de assentamento. O assentamento dos blocos intertravados pode ser feito através de equipamentos automatizados, em alguns países esta técnica está sendo utilizada há mais tempo.

Figura 5 – Assentamento manual de blocos intertravados



Fonte: elaborado pela autora.

f) Contenção lateral

O confinamento lateral, externo e interno, garante tal condição quando houver um rejuntamento efetivo das peças de concreto. A contenção deve ser feita através de colocação prévia de meios-fios, escorados de forma a suportarem os esforços horizontais.

2.5 Intertravamento dos Blocos

Knapton (1996 apud JUNIOR, 2007) define o intertravamento dos blocos como a capacidade que a associação destes blocos, em um sistema único, adquire de resistir aos movimentos de deslocamentos individuais. A resistência aos deslocamentos que cada bloco adquire nas direções horizontais, verticais e rotacionais em relação aos blocos vizinhos caracteriza o princípio do intertravamento do pavimento. O referido autor descreve o intertravamento horizontal como a impossibilidade de um bloco se deslocar horizontalmente em relação aos blocos vizinhos e contribui na distribuição dos esforços de cisalhamento horizontal sob a atuação do tráfego, principalmente em áreas de aceleração e frenagem.

As juntas quando preenchidas com areia e compactadas, são as responsáveis pelo bom desempenho do intertravamento do pavimento, por isso ele independe dos formatos dos blocos.

2.6 Modelo de Assentamento

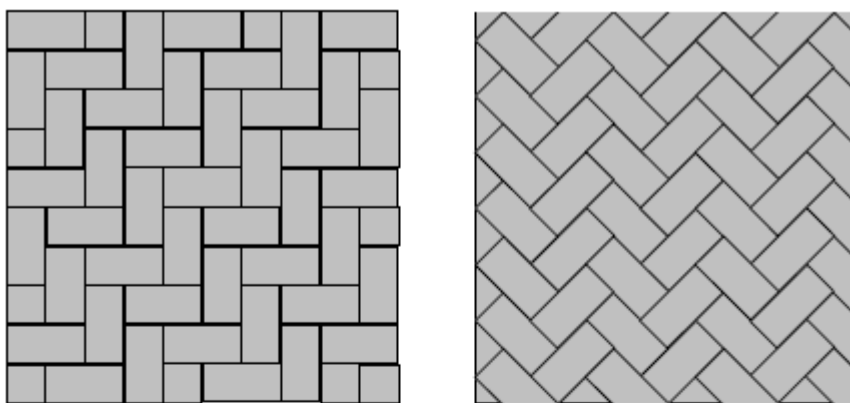
Hallack (1998 apud MÜLLER, 2005) relata que o modelo de assentamento escolhido vai influenciar tanto na estética do pavimento como no seu desempenho, no entanto não existe um consenso entre pesquisadores sobre a interferência do tipo de assentamento em sua durabilidade. A Figura 6 apresenta alguns tipos de assentamento de blocos intertravados.

O assentamento de blocos intertravado conhecido como “espinha-de-peixe”, possui melhores níveis de desempenho, apresentando menores valores de

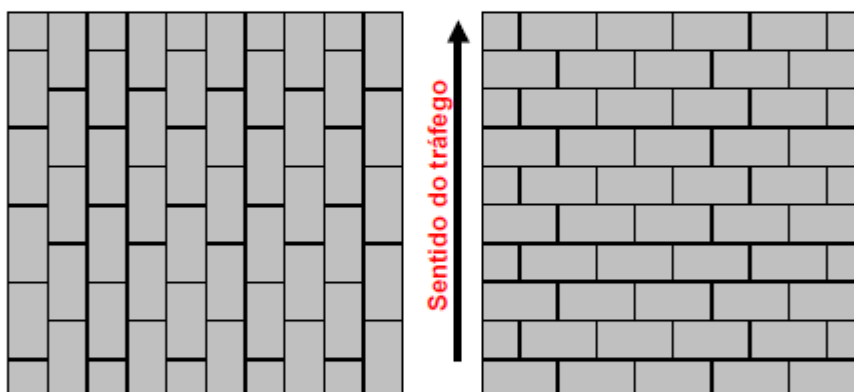
deformação permanente associados ao tráfego, já os pavimentos tipo fileira apresenta maiores deformações permanentes, principalmente quando o assentamento for paralelo ao sentido do tráfego (SHACKEL,1990 apud MÜLLER, 2005).

Figura 6 – alguns modelos de configuração para o assentamento

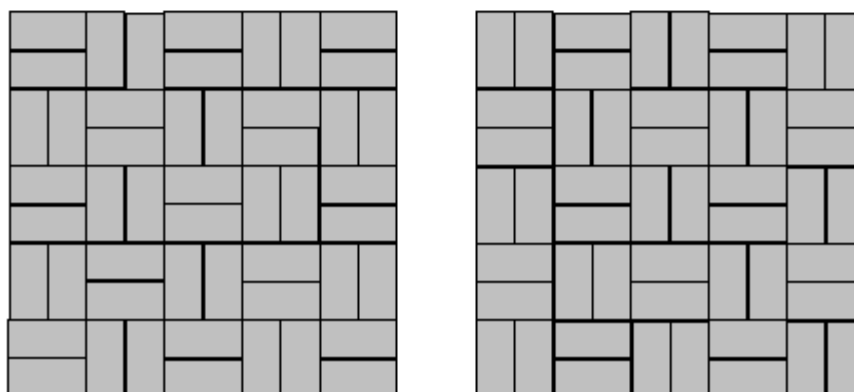
Espinha-de-peixe



Fileiras (“ou de corredor”)



Trama

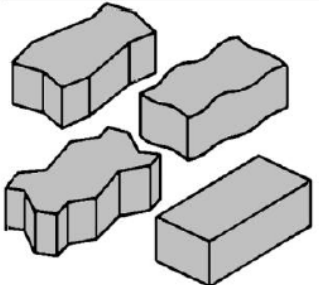
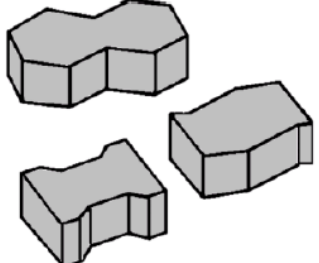
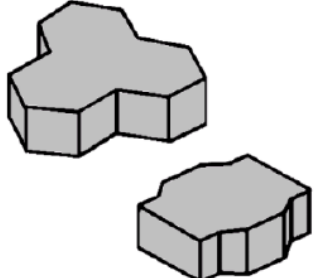


Fonte: Hallack (1998 apud MÜLLER, 2005).

2.7 Formato dos Blocos Intertravados

Os blocos intertravados podem ser fabricados com qualquer formato. Alguns modelos se destacam por serem mais utilizados. Os pesquisadores não entraram num consenso sobre qual o melhor formato dos blocos intertravados. O único requisito recomendado com relação ao formato dos blocos é que ele seja capaz de permitir o assentamento em combinação bidirecional. Na Figura 7, apresentam-se alguns dos formatos possíveis para os blocos intertravados de concreto.

Figura 7 – Formatos dos blocos intertravados de concreto

	A. Peças de concreto segmentadas ou retangulares, com relação comprimento / largura igual a dois (usualmente 200 mm de comprimento por 100 mm de largura), que entrelaçam entre si nos quatro lados, capazes de serem assentadas em fileiras ou em “espinha-de-peixe” e podem ser carregados facilmente com apenas uma mão.
	B. Peças de concreto com tamanhos e proporções similares aos da categoria A, mas que entrelaçam entre si somente em dois lados, e que só podem ser assentadas em fileiras. Podem ser carregados com apenas uma mão e genericamente têm o formato em “I”.
	C. Peças de concreto com tamanhos maiores do que as anteriores, que pelo seu peso e tamanho não podem ser carregados com apenas uma mão, com formatos geométricos característicos (trapézios, hexágonos, triedros etc.), assentadas seguindo-se sempre um mesmo padrão, que nem sempre conforma fileiras facilmente identificáveis.

Fonte: Hallack (1998 apud MÜLLER, 2005).

2.8 Equipamentos Para a Fabricação

Para a fabricação dos blocos de concreto intertravados inúmeros fatores podem interferir na qualidade dos blocos, como o tipo de máquinas e equipamentos,

os materiais utilizados, a sua dosagem, entre outros.

Conforme Hood (2006), conhecer as propriedades requeridas, os materiais que compõem, a execução da dosagem e o processo de produção é fundamental para obter sucesso.

Os equipamentos e máquinas utilizados para a fabricação dos blocos são chamadas de vibro-prensas multifuncionais, ou seja, são máquinas que produzem artefatos de cimento Portland. Essa denominação advém do tipo de mecanismo empregado para fazer com que o material de dosagem penetre e preencha as fôrmas de aço do equipamento. Esses equipamentos produzem em escala e tem os seguintes benefícios: o controle de homogeneidade das resistências mecânicas, textura e dimensões que podem ser exercidos durante a fabricação dos produtos (FIORITI, 2007).

Conforme relata Cruz (2003), variedades de vibro-prensas têm sido patenteados em todo mundo, desde a década de 1970. A seguir serão apresentados alguns tipos de vibro-prensas, classificadas conforme seu processo de desforma.

- **Vibro-prensa tipo poedeira**

São equipamentos que possuem pneus ou trilhos e permitem uma movimentação livre. O próprio piso onde se movimentam é utilizado para fazer a desforma dos blocos. Para fabricar blocos com este tipo de equipamento é necessário um grande espaço horizontal e necessita de grande quantidade de mão-de-obra nas etapas de transporte para a estocagem final dos blocos, por esse motivo este equipamento não é muito utilizado no Brasil.

- **Vibro-prensa com desforma sobre paletes**

Este equipamento utiliza a mesa das máquinas para efetuar as operações de desmoldagem. A desforma é feita sobre os paletes que alimentam de forma manual ou automática o equipamento a cada ciclo de fabricação. Os paletes são recolhidos e dispostos em prateleiras especiais ou colocados em áreas pré-determinadas para iniciar o período de cura.

A capacidade produtiva dos equipamentos com desforma sobre os paletes é

definida pelo seu tamanho, tipo de acionamento de vibração e prensagem (pneumática ou hidráulica), potência e tipo de vibradores empregados. Um fator diferenciador é o sistema de alimentação do concreto à máquina permite manter a constância e homogeneidade de produção. Com essas características o equipamento define sua produtividade por unidade de ciclo de produção. A forma geométrica, volume de concreto por bloco, altura e superfície de contato entre o bloco e a fôrma da máquina também influenciam no desempenho dos blocos produzidos (HOLANDA, 2000 apud FIORITI, 2007).

- **Vibro-prensa com desforma de multi-camadas**

Neste tipo de equipamento a operação de desmoldagem é feita em camadas.

Este equipamento é o mais moderno, é um avanço na fabricação de blocos, pois os mesmos saem do equipamento, previamente arrumados, no próprio palete, sendo este transportado diretamente à obra.

As vibro-prensas tem influência na energia de compactação e afetam a resistência a compressão dos blocos. Existem diferenças no desempenho dos equipamentos disponíveis no mercado.

2.9 Materiais Utilizados Para Fabricação

Para a fabricação de blocos intertravados de concreto são utilizados normalmente os seguintes materiais: cimento Portland, agregados graúdos, agregados miúdos e água. Ocasionalmente são utilizados adições minerais e aditivos químicos.

2.9.1 Cimento Portland

A NBR 9781/2013, menciona apenas que o cimento utilizado para fabricação dos blocos intertravados de concreto deve respeitar as normas, independentemente do tipo de cimento. Geralmente as indústrias utilizam o cimento de alta resistência inicial resistente a sulfatos, o pozolânico ou o composto com pozolana.

Conforme Pettermann (2006) o cimento influencia muito na resistência mecânica, porém as regulagens, o tipo de equipamento utilizado, as formas de vibração também são importantes e tem influência na resistência dos blocos intertravados de concreto.

De acordo com as características do equipamento e do tempo e forma de vibração, os blocos intertravados de concreto podem ter uma capacidade maior (OLIVEIRA, 2004 apud PETTERMANN, 2006), relata que o consumo muito elevado do cimento pode dificultar a produção dos blocos, em função de níveis de coesão muito elevados.

2.9.2 Agregado Graúdo

Os agregados graúdos utilizados na fabricação dos blocos intertravados de concreto são resultantes do britamento de rochas estáveis (brita “0” ou “1”). Estes são os mais indicados por apresentarem, geralmente, uma melhor aderência com a pasta de cimento, favorecendo a obtenção de resistências mecânicas mais elevadas.

2.9.3 Agregado Miúdo

Na fabricação de blocos intertravados de concreto, pode-se utilizar agregados miúdos artificiais, como pó de brita basalto, proveniente do processo de britamento de rochas estáveis para produção de agregados graúdos. Estes são os menos utilizados, pois em determinadas regiões não se tem a disponibilidade deste material e o formato mais anguloso e alongado dos grãos, dificulta a moldagem dos blocos e também requer mais pasta de cimento para produzir misturas mais trabalháveis. (PETTERMANN, 2006).

Segundo Oliveira (2004 apud PETTERMANN, 2006), normalmente os fabricantes utilizam areias médias, com módulos de finura variando entre 2,5 e 3,2 evitando areias grossas que dificultam a compactação devido ao fenômeno de interferência entre partículas.

2.9.4 Água

A água para a fabricação dos blocos intertravados de concreto deve estar isenta de substâncias que possam prejudicar as reações de hidratação do cimento.

Oliveira (2004 apud PETTERMANN, 2006) relata que desde que não prejudique na desforma e altere no formato do bloco, a quantidade de água ideal é a máxima possível compatível com o equipamento.

2.10 Dimensionamento

O método de dimensionamento que será descrito é em caráter experimental e é uma adaptação do método concebido por A.A. Lilley e B. Walker, aplica-se a instalações submetidas ao tráfego de veículos comerciais.

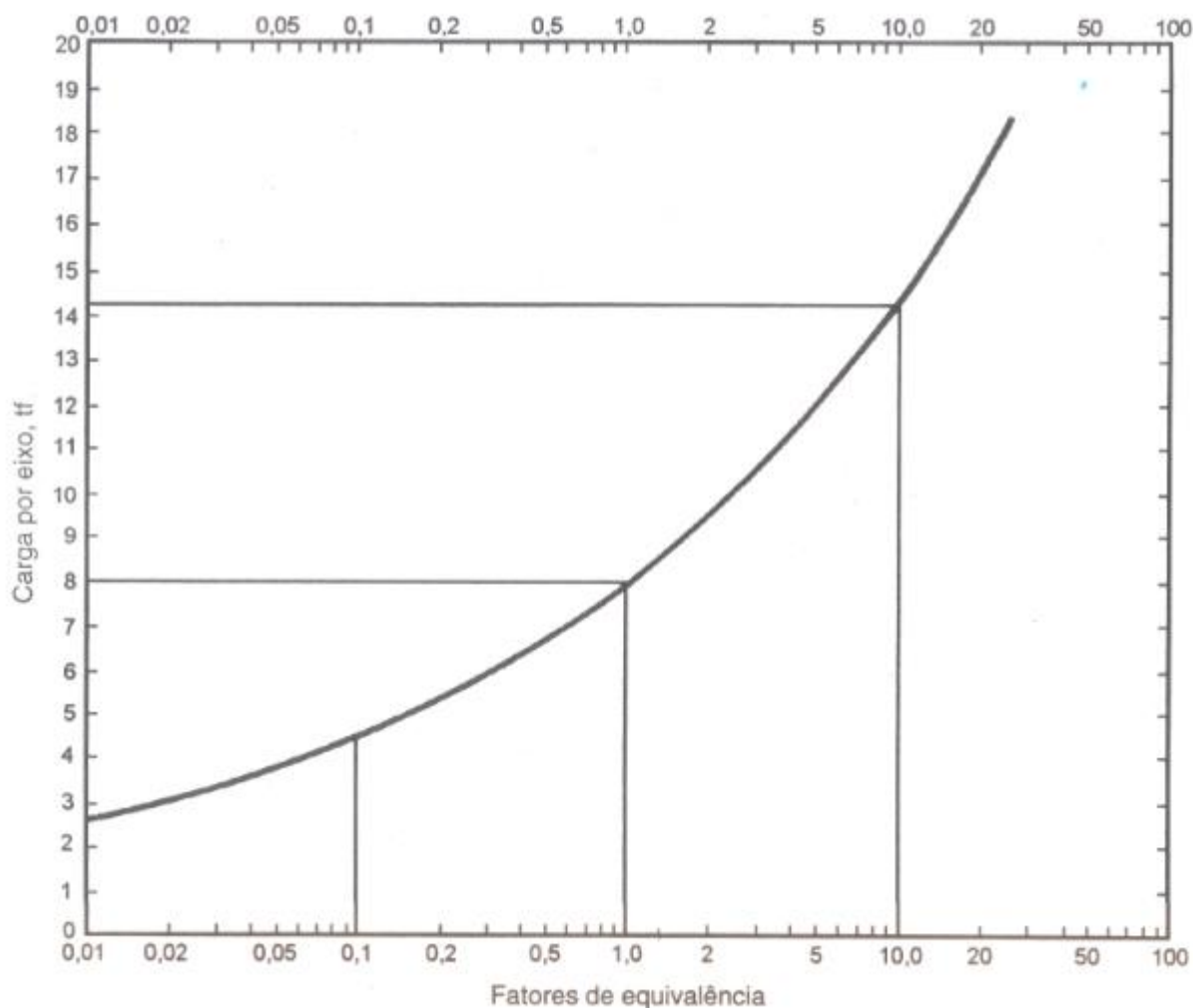
- **1º Gráfico:**

Tem a possibilidade de transformar o número previsto de solicitações de uma determinada carga por eixo, no número de solicitações equivalentes de uma carga padrão de 8,2 tf por eixo simples.

O Gráfico apresentado na Figura 8 é capaz de fornecer o fator de equivalência, que multiplicado pelo número de solicitações diárias previstas para determinada carga, leva a número equivalente de solicitações diárias de carga padrão.

Na ocorrência de eixos tandem duplos ou triplos, é considerada a carga total como dividida por 2 ou 3 eixos simples.

Figura 8 – Efeito relativo de diversas cargas por eixo simples



Fonte: Carvalho (1998).

• **2º Gráfico:**

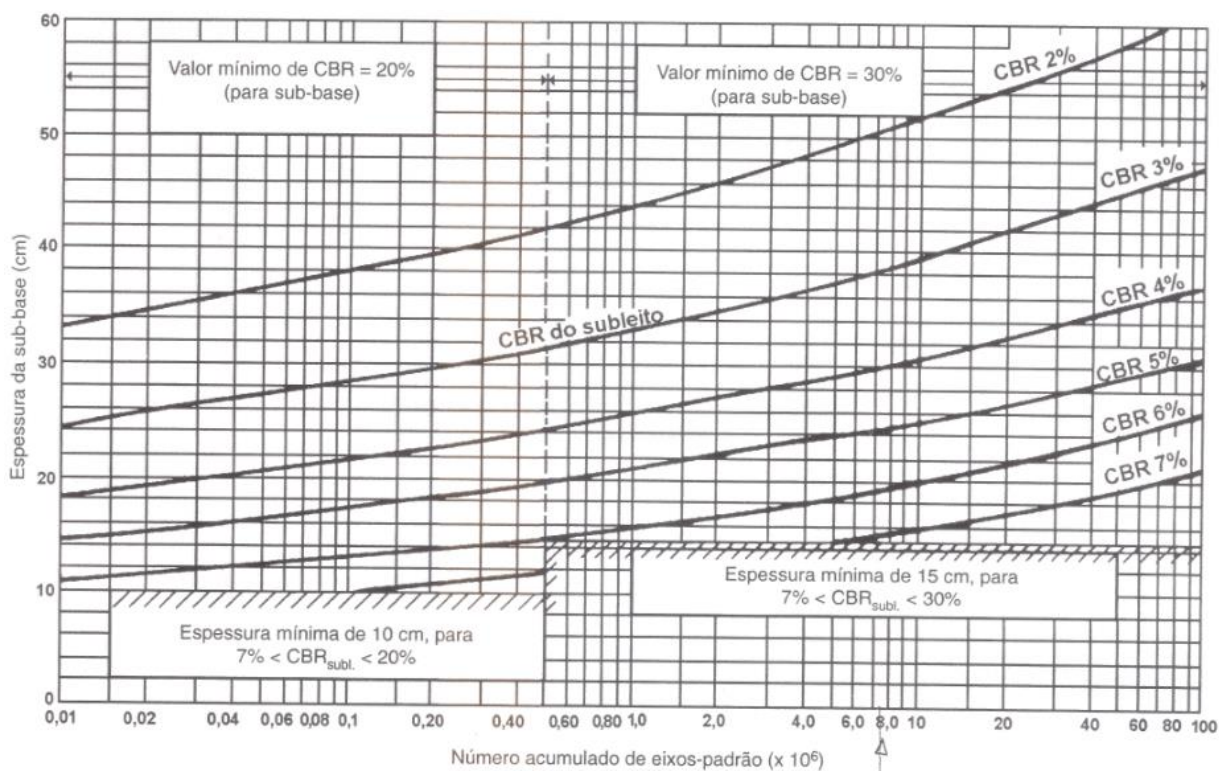
O 2º gráfico, apresentado na Figura 9, é capaz de fornecer as espessuras necessárias de sub-base em função do valor de CBR do subleito e do número de solicitação do eixo padrão.

1. $N \geq 0,5 \times 10^6$, o material de sub-base deve apresentar um CBR mínimo de 30%.
2. $N < 0,5 \times 10^6$, o material de sub-base deve apresentar um CBR mínimo de 20%
3. $N < 0,5 \times 10^6$ e o subleito apresentar um CBR igual ou superior a 20%, não é

necessária a camada de sub-base.

4. $N \geq 0,5 \times 10^6$ e o subleito apresentar um CBR igual ou superior a 30%, não é necessária a camada de sub-base.

Figura 9 – Espessura necessária de sub-base



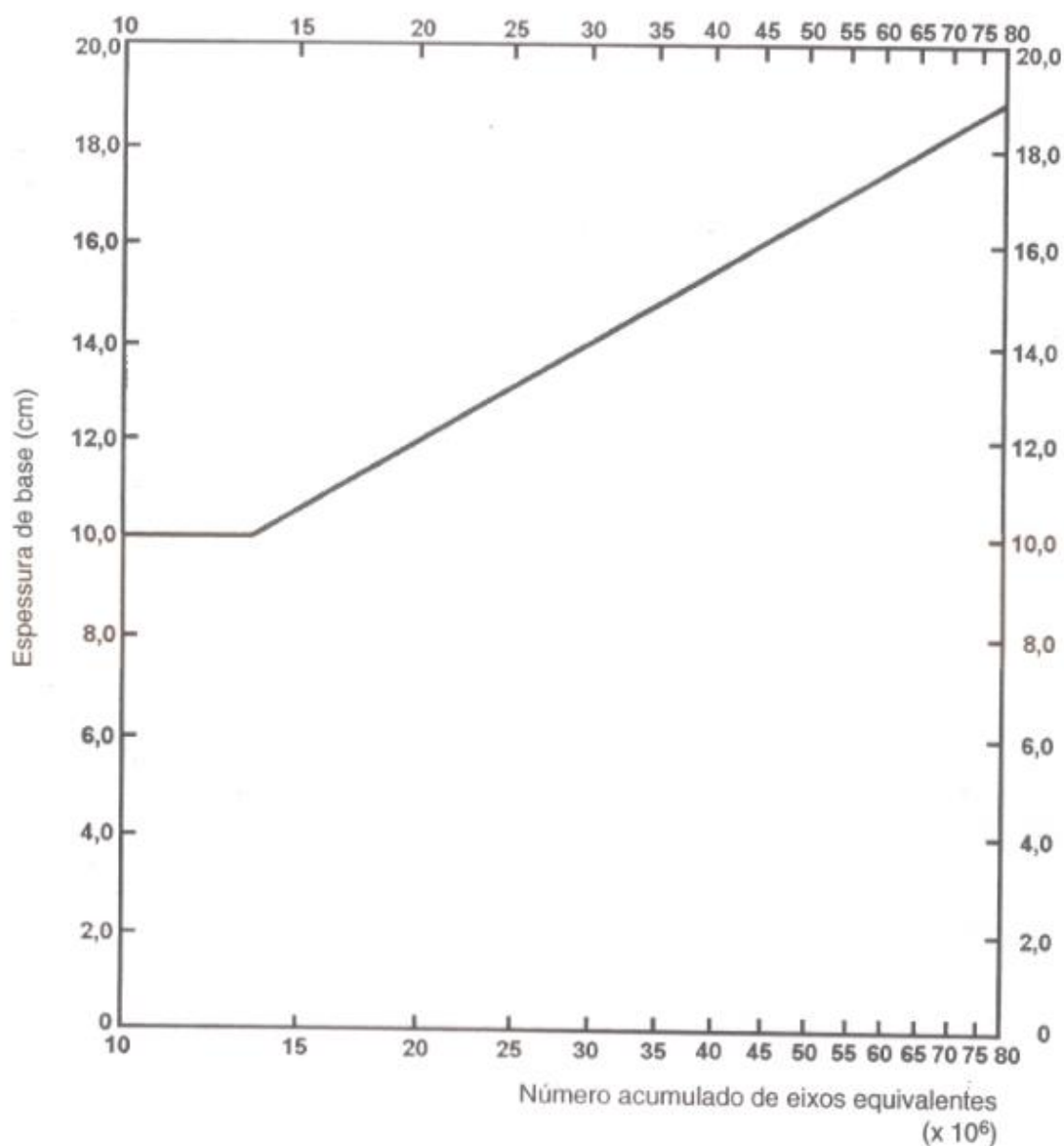
Fonte: Carvalho (1998).

• 3º Gráfico:

O 3º gráfico apresenta a espessura necessária de base de concreto rolado ou solo-cimento, em função do número de solicitações do eixo padrão, conforme pode ser visualizado na Figura 10.

É necessário observar que, quando o número de solicitações do eixo padrão (N) for inferior a $1,5 \times 10^6$, a camada da base não será necessária. Porém, é recomendado o emprego dessa camada com espessura mínima de 10cm, quando o número de solicitações (N) estiver compreendido entre $1,5 \times 10^6$ e 10^7 .

Figura 10 – Espessura necessária de base (concreto rolado ou solo-cimento)



Fonte: Carvalho (1998).

2.11 Conceito do Solo

A palavra solo tem vários conceitos, basicamente quer dizer superfície do chão. Em mecânica dos solos a palavra solo tem um significado específico voltado para a Engenharia (TISCOSKI, 2009).

Ainda conforme Tiscoski (2009), o solo está presente em praticamente todas as obras, e é um dos materiais mais antigos utilizados na construção, é fundamental

ter conhecimento das características dos materiais para que possa se prever o comportamento diante das solicitações.

Os solos são materiais que resultam do intemperismo ou meteorização das rochas, por desintegração mecânica ou decomposição química. O solo é definido como agregado não-cimentado de grãos minerais e matéria orgânica decomposta (partículas sólidas), com líquido e gás nos espaços vazios entre as partículas sólidas (DAS, 2007 apud TISCOSKI, 2009).

2.12 Classificação do Solo

A estrutura de um solo é definida como o arranjo ou configuração das partículas do solo entre si. Alguns dos fatores que tem influência na estrutura do solo são a forma, o tamanho e a composição mineralógica das partículas. Os solos podem ser classificados em dois grandes grupos: coesivos e não coesivos.

2.12.1 Solos Coesivos

Os grãos dos solos coesivos são muito finos, normalmente imperceptíveis a olho nu. Para entender sobre os solos coesivos é necessário conhecer os tipos de forças que agem entre as partículas de argila suspensas em água (TISCOSKI, 2009).

Cada uma das partículas pode sedimentar muito lentamente ou permanecer em suspensão. O sedimento formado pela decantação das partículas individuais tem estrutura dispersa e todas as partículas estão organizadas mais ou menos paralelas umas das outras. Quando existir um potencial atrativo, elas podem ser captadas umas pelas outras e sedimentar-se em flocos, compondo a floculação. Argilas com estruturas floculadas têm pouco peso e possuem índices de vazios elevados (DAS, 2007, apud TISCOSKI, 2009).

2.12.2 Solos Não Coesivos

As estruturas dos solos não coesivos podem ser divididas em duas categorias principais: com grãos isolados e alveolares. A forma e a organização de tamanho das partículas do solo e suas posições relativas tem influência sobre a densidade do agrupamento, sendo possível um grande intervalo de índices de vazios. Solos com estrutura alveolar apresentam elevado índice de vazios, em consequência grande chance de recalque quando submetidos a cargas elevadas.

2.13 Índices Físicos do Solo

Os índices e as relações descritos a seguir tem um papel importante nas propriedades dos solos, uma vez que estas dependem dos seus constituintes e das proporções relativas entre eles (CAPUTO, 1988 apud TISCOSKI, 2009).

- **Umidade:** a umidade de um solo pode ser definida como sendo a razão entre o peso da água contida em um determinado volume de solo úmido e o peso seco.
- **Peso específico aparente:** é a razão entre o peso total da amostra e seu volume.
- **Peso específico aparente seco:** corresponde à relação entre o peso total da amostra seca e seu volume total.
- **Índice de vazios:** é a razão entre o volume de vazios e o volume ocupado pela parte sólida do solo. Pode ser determinado em função do peso específico das partículas do solo e o peso específico aparente seco.
- **Grau de compactidade:** o estado natural de um solo não coesivo (areia, pedregulho) define-se pelo grau de compactidade ou densidade relativa.
- **Porosidade:** é a razão entre o volume de vazios e o volume total de uma amostra de solo.
- **Grau de saturação:** é a porcentagem volumétrica de água existente nos

vazios de um solo. É a relação entre o volume de água e volume de vazios.

- **Peso específico aparente saturado:** é o peso específico do solo que pode ficar saturado, sem que ocorra variação no seu volume.

- **Peso específico aparente submerso:** é o peso específico efetivo do solo quando submerso, e corresponde ao peso específico natural menos o peso específico da água.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Materiais

3.1.1 Locação

O local onde se encontra o pavimento objeto deste estudo é no Centro Universitário Univates, situado na Rua Avelino Tallini, Bairro Universitário, na Cidade de Lajeado-RS, como ilustra a Figura 11.

Figura 11 – Localização de Lajeado-RS e do Centro Universitário Univates



Fonte: Google Maps (2015)

O pavimento no qual foi realizado o estudo está situado nas proximidades do prédio 16 do Centro Universitário Univates.

A cidade de Lajeado está localizada no Vale do Taquari, a 117km de Porto Alegre, a área do município é de 90 Km². Confronta-se, ao Norte, com os municípios de Arroio do Meio e Marques de Souza, ao Sul, com Cruzeiro do Sul e Santa Clara.

3.1.2 Formação do Solo

Conforme Streck et al. (2002), a região de Lajeado-RS é composta por solos Chernossolo Háplico Órtico e Nitossolo Vermelho Distroférrico. Os Chernossolos são solos rasos a profundos, lembram solos escuros e com alta fertilidade química, se caracterizam por apresentar razoáveis teores de material orgânico. E os Nitossolos são solos profundos, mostram um perfil muito homogêneo, em que é difícil distinguir os horizontes. Os Nitossolos são normalmente solos ácidos, pelo fato de apresentarem predomínio de caulinita e óxidos de ferro na sua constituição. Na Figura 12 é possível visualizar a aparência do solo coletado no subleito.

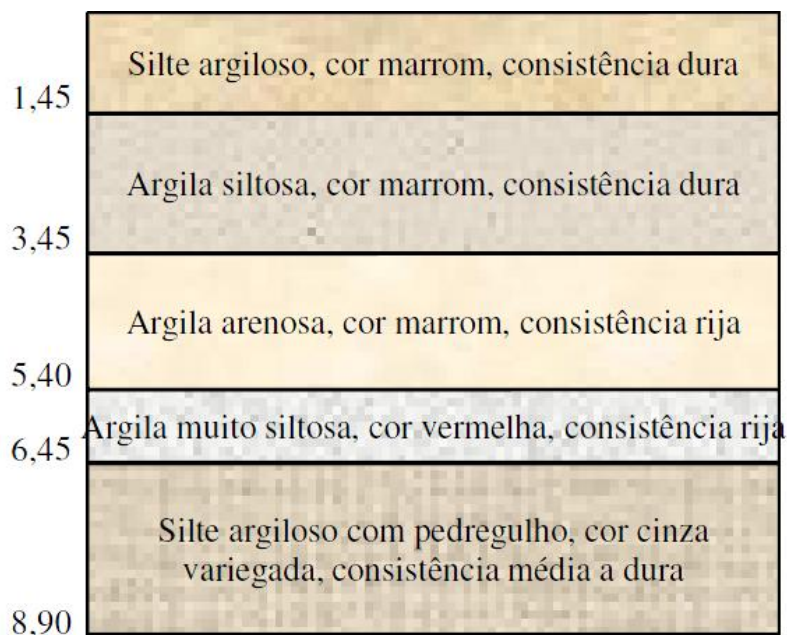
Figura 12 – Amostra de solo



Fonte: elaborado pela autora.

A partir de uma sondagem SPT realizada, foi possível identificar o perfil geotécnico do terreno. A estratificação do subsolo pode ser visualizada na Figura 13.

Figura 13 – Resultado do ensaio de SPT



Fonte: acervo da empresa Estacas Brasil.

3.1.3 Características dos Blocos

Os blocos intertravados de concreto podem ser fabricados em diferentes formatos, cores e espessuras. No Centro Universitário Univates foram utilizados blocos intertravados de concreto com espessura de 8cm, o assentamento das peças é espinha-de-peixe e o bloco é classificado como tipo I, conforme a Figura 14.

Figura 14 – Assentamento dos blocos

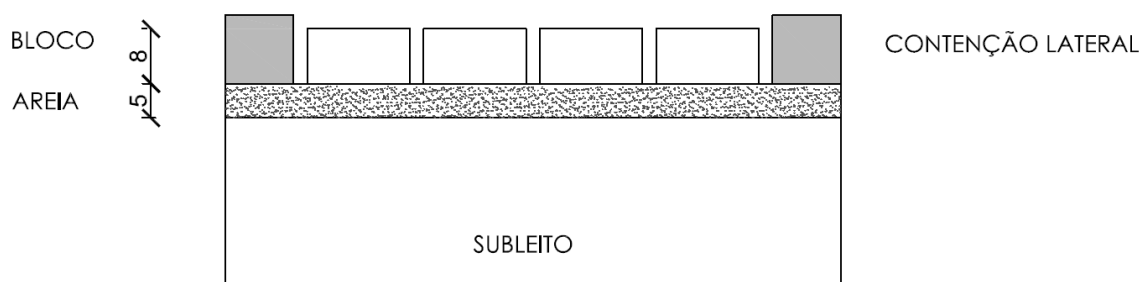


Fonte: elaborado pela autora.

3.1.4 Projeto de Pavimento do Centro Universitário Univates

Para executar o projeto do pavimento do Centro Universitário Univates, foram utilizados 5 centímetros de areia e após foram assentados os blocos intertravados de concreto, com espessura de 8 centímetros e para a contenção lateral, utilizou-se meio-fio, conforme mostra a Figura 15.

Figura 15 – Pavimento executado na Univates



Fonte: elaborado pela autora.

3.2 Métodos

3.2.1 Ensaios Para a Caracterização do Solo

Os solos podem ser classificados em grupos. Os limites de consistência foram estabelecidos por Atterberg no ano de 1908, para caracterizar as mudanças entre o estado de consistência. Mais tarde Casagrande adaptou para a mecânica dos solos o procedimento proposto por Atterberg, para descrever a consistência de solos com grãos finos e teor de umidade variável (DAS, 2007 apud TISCOSKI, 2009). Desta maneira, dependendo do teor de umidade o comportamento do solo pode ser dividido em quatro estados básicos: sólido, semi-sólido, plástico e líquido.

3.3 Limites de Atterberg

3.3.1 Limite de Liquidez (LL)

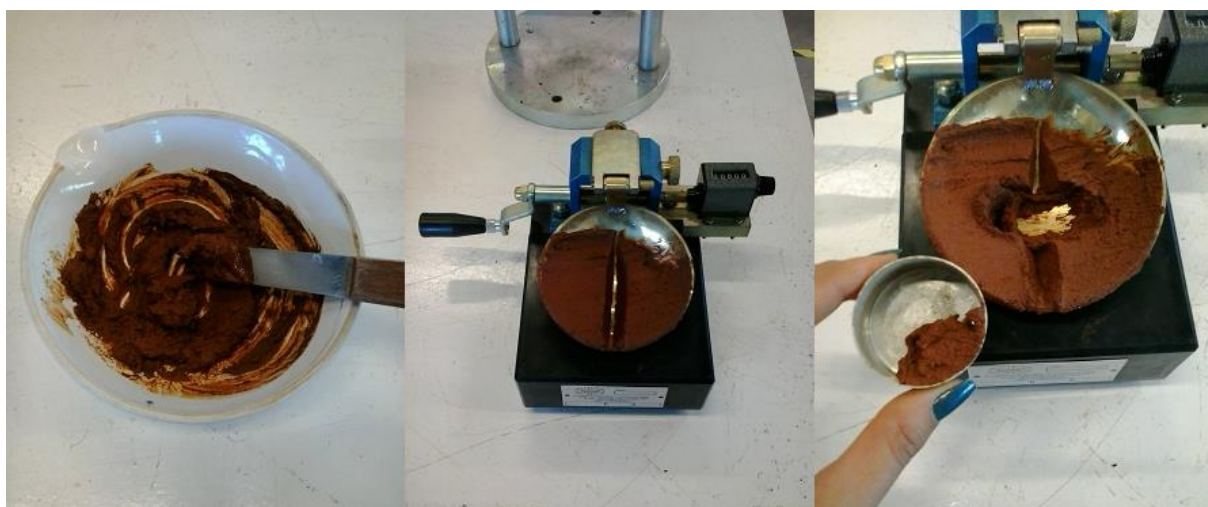
Este ensaio é padronizado pela NBR 6459/1984. O limite de liquidez é

definido como teor de umidade no ponto de transição do estado plástico para o estado líquido (DNER 49, 1994).

Os equipamentos necessários para a realização do ensaio de Limite de Liquidez são: aparelho de Casagrande, cinzel, balança, estufa capaz de manter a temperatura entre 105°C – 110°C, recipiente para guardar as amostras sem perda de umidade antes das pesagens, cápsula de porcelana, espátula com lâmina flexível, pinça para retirar os objetos da estufa e esfera de aço com 8mm de diâmetro (DNER 49, 1994).

Para realizar o ensaio de limite de liquidez foi separada uma porção de solo passante na peneira com abertura de 0,42mm (peneira n.º 40), este material foi colocado em um recipiente e em seguida foi acrescentado de 15 a 20 cm³ de água até a mistura ficar homogênea, após foi colocado uma parcela do material no aparelho de Casagrande, ocupando aproximadamente 2/3 da superfície da concha, com o cinzel foi feito a canelura e posteriormente foi golpeado através da manivela, com velocidade de duas voltas por segundo, até as duas bordas se encontrarem. No local onde as bordas de encontraram foi retirado o solo, colocado no recipiente, pesado e em seguida levado para a estufa, com temperatura entre 105° e 110 °C para determinar a umidade. Este ensaio foi realizado três vezes e a cada ensaio foi encontrado 5 pontos.

Figura 16 – Ensaio limite de liquidez



Fonte: elaborado pela autora.

Para obter o resultado do limite de liquidez, é necessário aplicar a seguinte Equação(1).

$$h = \frac{Pa}{Ps} \times 100 = \frac{Ph - Ps}{Ps} \times 100 \quad (1)$$

Onde:

h: teor de umidade

Pa: peso de água

Ph: peso do solo úmido

Ps: peso do solo seco

Com os valores obtidos através da Equação (1), faz-se um gráfico com o número de golpes e os teores de umidade, representa-se uma linha de tendência para então obter na reta a umidade correspondente a 25 golpes.

3.3.2 Limite de Plasticidade (LP)

O limite de plasticidade é determinado através do cálculo da porcentagem de umidade para a qual o solo começa a se fraturar quando se tenta moldar um cilindro de 3mm de diâmetro e de 10 cm de comprimento. É realizado manualmente por repetidos rolamentos da massa de solo sobre uma placa de vidro despolido (CAPUTO, 1983 apud TISCOSKI, 2009). No Brasil este ensaio é padronizado pela norma NBR 7180/1984.

Para realizar o ensaio de limite de plasticidade é indispensável os seguintes materiais: cápsula de porcelana com capacidade de 500ml, espátula com lâmina flexível, placa de vidro de superfície esmerilhada, cilindro de comparação de 3mm de diâmetro e cerca de 10cm de comprimento, recipientes que permitam guardar amostras sem perda de umidade antes de sua pesagem, balança e estufa capaz de manter a temperatura entre 105°C - 110°C (DNER 82,1994).

Para o ensaio foi separado uma parcela do solo coletado passando na peneira com abertura de 0,42mm (peneira n.º 40) e em seguida foi acrescentado água até obter uma massa plástica e homogênea. Posteriormente foi separada uma parte deste material para ser modelado através de rolamentos para formar um cilindro. Quando o cilindro atingiu um diâmetro de aproximadamente 3mm e não foi possível formar um novo cilindro com o solo o material foi colocado num recipiente, pesado e colocado na estufa, para então determinar a umidade.

Figura 17 – Ensaio limite de plasticidade



Fonte: elaborado pela autora.

Para obter o valor de limite de plasticidade é utilizada a mesma equação do limite de liquidez, e posteriormente é feita a média dos valores para obter o valor do limite de plasticidade para o solo.

3.3.3 Índice de Plasticidade (IP)

O índice de plasticidade é a diferença entre o limite de liquidez e o limite de plasticidade de um solo. Conforme Caputo (1988 apud TISCOSKI, 2009), quanto

maior o índice de plasticidade, mais plástico será o solo. Para obter o índice de plasticidade utiliza-se a Equação (2).

$$IP = LL - LP \quad (2)$$

Onde:

IP: índice de plasticidade

LL: limite de liquidez

LP: limite de plasticidade

3.4 Granulometria

Caputo (1988 apud TISCOSKI, 2009) relata que conforme as dimensões das partículas, as frações dos solos recebem denominações. De acordo com a escala granulométrica brasileira (ABNT) são:

- Pedregulho: conjunto de partículas cujas dimensões (diâmetros equivalentes) estão compreendidas entre 76 e 4,8 mm.
- Areia: entre 4,8 e 0,05 mm.
- Silte: entre 0,05 e 0,005mm.
- Argila: inferiores a 0,005mm.

3.4.1 Análise Granulométrica

A análise granulométrica é a determinação das dimensões das partículas do solo e as proporções relativas em que elas se encontram (DNER 51, 1994).

3.4.1.1 Peneiramento

O ensaio de peneiramento é iniciado com 1.500g de solo seco, este material é passado na peneira com abertura de 0,0075mm (peneira n.º200) com água. O material retido na peneira é colocado na estufa com temperatura entre 105° e 110°C e após o material seco é passado nas peneiras com aberturas de 50 – 38 – 25 – 19 – 9,5 – 4,8 – 2,0 – 1,2 – 0,6 – 0,42 – 0,30 – 0,15 e 0,075 mm. Os valores retidos em cada peneira são anotados.

Figura 18 – Ensaio de Peneiramento



Fonte: elaborado pela autora.

3.5 Ensaio de Compactação (Proctor)

O ensaio de Compactação consiste em compactar o solo com teores crescentes de umidade. O ensaio tem como finalidade definir, para uma energia de compactação específica, qual o teor de umidade ótimo para obter a massa específica aparente seca máxima após a compactação, que resultará em um aumento na

resistência deste solo (SENÇO, 1997 apud D'AGOSTINI 2010).

O ensaio foi realizado de acordo com NBR 7182/1988 e os aparelhos necessários foram: balanças, peneiras, estufa, cápsulas metálicas, bandejas metálicas, régua de aço biselada, espátulas, cilindro metálico, soquete, provetas, extrator de corpo-de-prova, conchas metálicas, base rígida e papel filtro.

O ensaio foi realizado na energia de compactação normal. Inicialmente foi separado 3,00kg de solo passante na peneira com abertura de 4,8mm (peneira n.º4). O solo foi colocado em uma bandeja e em seguida acrescentou-se água até encontrar a umidade higroscópica, o material foi colocado no cilindro e com um soquete foram realizados 26 golpes em cada camada, totalizando 3 camadas. Com o auxílio de uma régua de aço biselada foi retirado o excesso de material e após o cilindro foi pesado. Para cada cilindro foi retirado uma amostra de solo. E para camada de solo foi acrescentado aproximadamente 90ml de água. Na Figura 19, pode-se observar os aparatos utilizados para realização do ensaio de compactação.

Figura 19 – Ensaio de compactação



Fonte: elaborado pela autora.

Para obter o resultado do ensaio é traçada uma curva de compactação, onde no eixo das abscissas colocam-se os valores de massa específica seca e, no eixo das ordenadas, os teores de umidade (PUHL, 2014).

3.6 Índice de Suporte Califórnia

O ensaio de Índice de Suporte Califórnia (ISC), também conhecido como ensaio CBR (Califórnia Bearing Ratio), é utilizado para determinar a relação percentual entre a pressão necessária para se penetrar um pistão padronizado, em uma amostra de solo devidamente preparada e a pressão para que o mesmo pistão penetre a mesma profundidade, em uma amostra padrão de pedra britada. (D'AGOSTIN, 2010; BRASIL, 1994d).

Conforme a NBR 9895/1987 são necessários os seguintes aparelhos: balanças, peneiras, estufas, cápsulas metálicas, bandejas metálicas, régua biselada, espátulas, cilindro, soquete, prato perfurado de bronze, latão ou ferro galvanizado, porta extensômetro, disco anelar de aço, extensômetro, prensa, extrator de corpo-de-prova, tanque, papel filtro, provetas de vidro, conchas metálicas e base rígida.

O material passante na peneira com abertura 4,8mm (peneira n.º4) foi colocado em uma bandeja e adicionado água, em seguida o solo foi inserido no cilindro em cinco camadas iguais, com 12 golpes em cada camada. Após a última camada ser compactada com o auxílio da régua biselada foi retirado o excesso de material e o molde foi virado para colocar o peso. O molde foi colocado no tanque com água, juntamente com o extensômetro. Passados quatro dias retirou-se o molde do tanque, mediu-se a expansão e colocou-o na prensa.

Figura 20 – Ensaio de Índice de Suporte Califórnia



Fonte: elaborado pela autora.

3.7 Ensaio de Resistência à Compressão

A resistência à compressão é determinada a partir de ensaios com máquina de ensaios de compressão. A resistência a compressão é expressa em megapascals (MPa) e é obtida dividindo-se a carga de ruptura, expressa em newtons (N), pela área de carregamento, expressa em milímetros quadrados (mm²), multiplicando-se o resultado pelo fator p , função da altura da peça. Os blocos intertravados de concreto devem atender as especificações contidas na Tabela 1.

Tabela 1 – Resistência característica à compressão

Solicitação	Resistência característica à compressão (f_{pk}) aos 28 dias MPa
Tráfego de pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linha	≥ 35
Tráfego de veículos especiais e solicitações capazes de produzir efeitos de abrasão acentuados	≥ 50

Fonte: NBR 9781 (2013).

O ensaio de resistência a compressão foi feito com 9 blocos intertravados de concreto. Primeiramente os blocos são capeados, após o capeamento os blocos foram colocados em um tanque com água por aproximadamente 24 horas e em seguida foram submetidos ao ensaio (Figura 21).

Figura 21 – Capeamento dos blocos e ensaio de resistência a compressão



Fonte: elaborado pela autora.

3.8 Ensaio de Absorção de água

A absorção de água é expressa em porcentagem, e representa o incremento de massa de um corpo sólido poroso devido à penetração de água em seus poros permeáveis, em relação à sua massa em estado seco. Para realização deste ensaio são necessários os seguintes equipamentos: estufa ventilada com temperatura de $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$, termômetro, tanque de água, balança, escova com cerdas suaves, tela metálica com suporte e pano (NBR 9781/2013).

De acordo com NBR 9781/2013 os blocos devem apresentar absorção de água com valor médio, menor ou igual a 6%, não sendo admitidos valores individuais maiores que 7%.

O ensaio de absorção de água foi realizado com 3 blocos intertravados de concreto. Para dar início ao ensaio foram removidas as partículas e o pó existentes no bloco, em seguida os blocos foram colocados em um tanque de água por 24 horas (Figura 22), após esse período os blocos foram retirados do tanque, com um

pano retirou-se a água em excesso e pesou-se o bloco. Depois de realizada a pesagem dos blocos saturados eles foram transferidos para uma estufa com temperatura de aproximadamente 110 °C por 24 horas e então foi realizada a pesagem dos blocos secos.

Figura 22 – Blocos submersos na água



Fonte: elaborado pela autora.

Para obter o valor de absorção de água dos blocos intertravados de concreto, utiliza-se a Equação (3).

$$A = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100 \quad (3)$$

Onde:

A: é a absorção de cada corpo de prova, expressa em porcentagem (%);

m1: é a massa do corpo de prova seco, expressa em gramas(g); e

m2: é a massa do corpo de prova saturado, expressa em gramas(g)

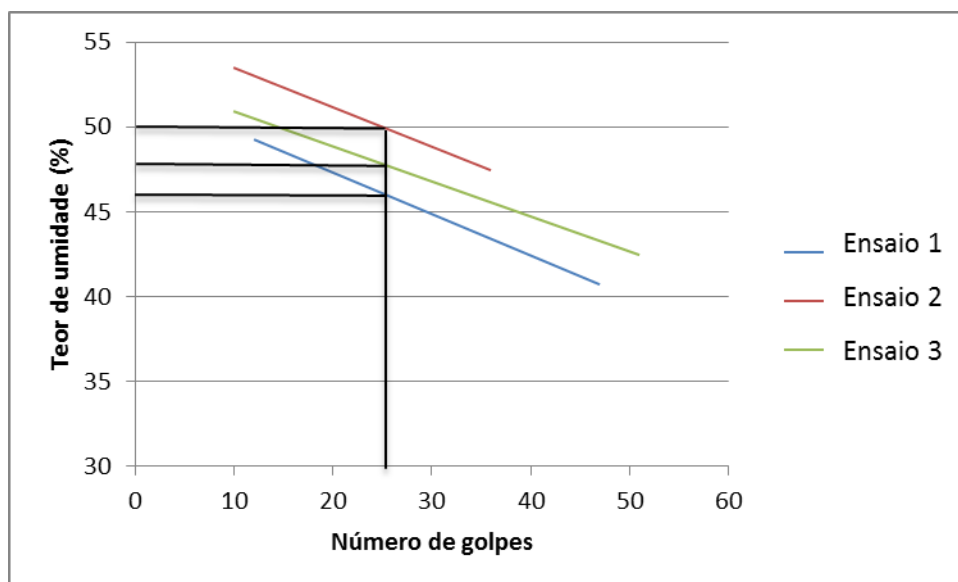
4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 Limites de Atterberg

4.1.1 Limite de Liquidez (LL)

Foram realizados três ensaios de limite de liquidez e os resultados estão apresentados no gráfico da Figura 23 e na Tabela 2.

Figura 23 – Resultados ensaios de limite de liquidez (LL)



Fonte: elaborado pela autora.

Tabela 2 – Resultados dos ensaios de limite de liquidez

Ensaio	LL (%)
1	50
2	48
3	46
Média	48

Fonte: elaborado pela autora.

Para obter o resultado final do ensaio de limite de liquidez, verificou-se o teor de umidade de cada um dos ensaios no número de golpes igual a 25. Para o Ensaio 1 obteve-se 50% de teor de umidade, para o Ensaio 2 - 48% de teor de umidade e para o Ensaio 3 – 46% de teor de umidade. Calculou-se a média dos valores dos três ensaios chegando no valor final de 48% para o teor de umidade que representa o limite de liquidez (LL) do solo estudado.

4.2 Limite de Plasticidade (LP)

Para o limite de plasticidade foram realizados três ensaios, os resultados estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Resultados dos ensaios de limite de plasticidade

Ensaio	LP(%)
1	33
2	30
3	36
Média	33

Fonte: elaborado pela autora.

O resultado final do limite de plasticidade obteve-se a partir do cálculo da média dos valores encontrados nos três ensaios realizados. No Ensaio 1 o valor da umidade foi de 33%, no Ensaio 2 – 30% e no Ensaio 3 – 36%, realizando a média dos valores chegou-se ao valor de 33% para o teor de umidade que representa o limite de plasticidade (LP) do solo estudado.

4.2.1 Índice de Plasticidade (IP)

Para encontrar o valor do índice de plasticidade (IP) foi feita a diferença do valor encontrado no limite de liquidez, igual a 48%, e do valor do ensaio de limite de plasticidade, igual a 33%. Utilizando a Equação 4, chegou-se ao valor de 15% para o índice de plasticidade.

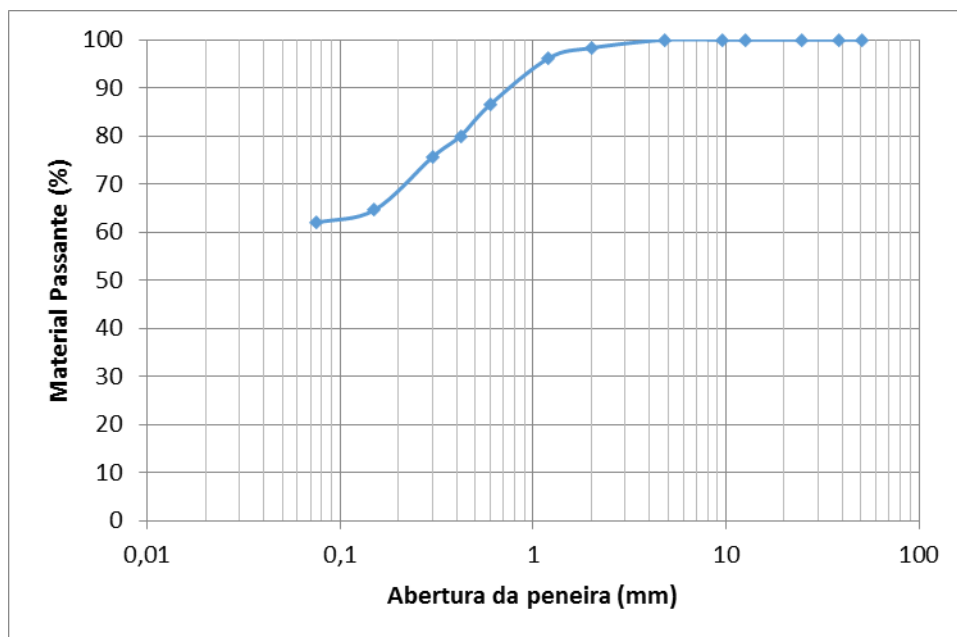
$$IP = LL - LP$$

$$IP = 48\% - 33\% = 15\% \quad (4)$$

4.3 Granulometria por Peneiramento

Através do ensaio de peneiramento, obtiveram-se os resultados apresentados na Figura 24 para a granulometria do solo estudado.

Figura 24 – Resultados dos ensaios de peneiramento



Fonte: elaborada pela autora.

Nas peneiras com abertura de 50, 38, 25, 19, 9,5, 4,8 e 2,0mm não ficou retido nenhum material, a partir da peneira com abertura de 2mm o material ficou retido, sendo que 61,98% do solo é passante na peneira com abertura de 0,075mm (peneira n.º200). Dessa forma, constata-se que o material que compõe o solo é predominantemente fino, podendo ser silte ou argila.

4.4 Classificação do Solo

Com os resultados obtidos através dos ensaios realizados e utilizando o sistema de AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation officials*) foi possível classificar o solo, conforme mostra a Figura 25.

Figura 25 – Sistema para classificação de solos da AASHTO

CLASSIFICAÇÃO GERAL	MATERIAIS GRANULARES 35 % (ou menos) passando na peneira n. 200							MATERIAIS SILTO - ARGILOSOS			
CLASSIFICAÇÃO EM GRUPOS	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
	A-1-A	A-1-B		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5 A-7-6
Granulometria - % passando na peneira											
n. 10	50 máx.										
n. 40	30 máx.	30 máx.	51 mín.								
n. 200	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Características da fração passando na peneira n. 40:											
Limite de Liquidez				40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de Plasticidade	6 máx.	6 máx.	NP	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.*
Índice de Grupo	0	0	0	0	0	4 máx.	4 máx.	8 máx.	12 máx.	16 máx.	20 máx.
Materiais constituintes	Fragmentos de pedras, pedregulho fino e areia			Pedregulho ou areias siltsos ou argilosos				Solos siltsos		Solos argilosos	
Comportamento como subleito	Excelente a bom							Sofrível a mau			

* O IP do grupo A-7-5 é igual ou menor do que o LL menos 30.

* O IP do grupo A-7-5 é igual ou menor do que o LL menos 30.

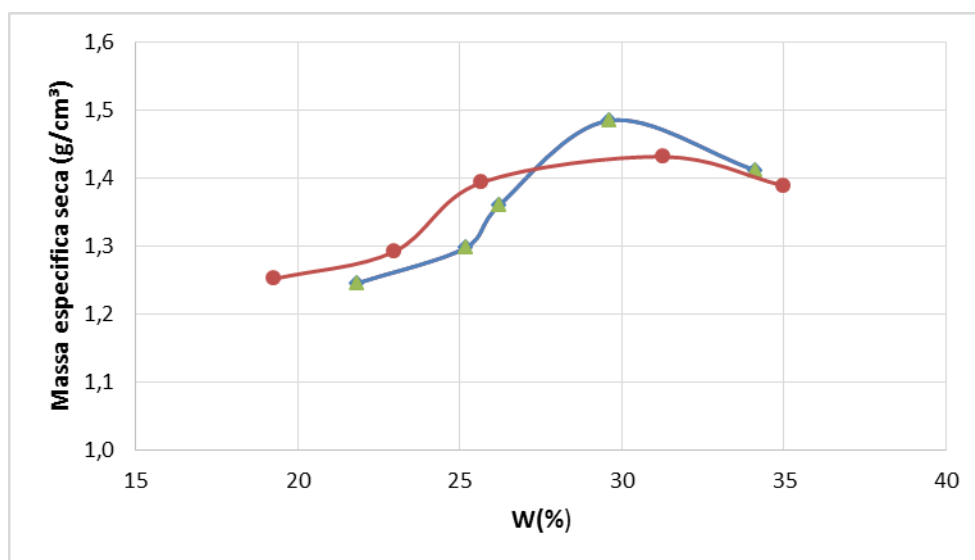
Fonte: IPR-719/DNIT (2006).

O solo objeto deste estudo pertence ao grupo A-7-5, que se trata de um solo argiloso, com o comportamento como subleito sofrível a mau.

4.5 Ensaio de Compactação (Proctor)

Foram realizados dois ensaios de compactação (Proctor normal) e os resultados estão apresentados na Figura 26.

Figura 26 – Curva de Compactação (Proctor Normal)



Fonte: elaborado pela autora.

A Tabela 4 apresenta os parâmetros de compactação obtidos nos ensaios 1 e 2, bem como o valor médio adotado para o solo do estudo.

Tabela 4 – Resultados do ensaio de compactação proctor

Ensaio	w (%)	γ _d (kN/m³)
1	29,5	14,8
2	31	14,3
Média	30,25	14,55

Fonte: elaborado pela autora.

Com os valores do peso específico aparente seco e do teor de umidade nos dois ensaios realizados, traça-se a curva de compactação, pela qual é possível verificar a umidade ótima de compactação. No primeiro ensaio obteve-se o valor de 29,50% para umidade ótima e 14,8kN/m³ de peso específico aparente seco máximo e no segundo ensaio obteve-se o valor de umidade ótima de 31,00% e o peso específico aparente seco máximo de 14,3kN/m³. Realizou-se, então, a média dos dois resultados e chegou-se ao valor de 30,25% para a umidade ótima de compactação e 14,55kN/m³ de peso específico aparente seco máximo.

4.6 Índice de Suporte Califórnia

Foram realizados dois ensaios de ISC, os resultados estão expressos na Tabela 5. No Ensaio 1 o valor do ISC do solo foi de 10,6% e no Ensaio 2 o valor de ISC foi igual a 11,9%. Realizando a média dos valores, obteve-se 11,25% como o ISC do solo do subleito. Nos Anexo A e B é possível observar os gráficos dos dois ensaios realizados.

Tabela 5 – Resultados dos ensaios de ISC

Ensaio	ISC (%)
1	10,6
2	11,9
Média	11,25

Fonte: elaborado pela autora.

4.7 Ensaio de Resistência à Compressão

O ensaio de resistência à compressão foi realizado com 9 blocos intertravados de concreto e, conforme a NBR 9781/2013, os blocos devem ter a resistência igual ou maior que 35 MPa. O Anexo C apresenta os valores obtidos nos ensaios. Pela Tabela 6, percebe-se que dois dos blocos que foram submetidos ao ensaio não atingiram o valor estabelecido pela norma, o valor da resistência do bloco 1 foi de 32,40 MPa e do bloco 8 de 28,81MPa.

Tabela 6 – Resultados do ensaio de resistência a compressão

Bloco	Resistência à Compressão (MPa)
1	32,4
2	35,99
3	38,31
4	43,94
5	48,72
6	37,06
7	47,56
8	28,81
9	43,19

Fonte: elaborado pela autora.

4.8 Ensaio de Absorção de Água

O ensaio de absorção de água foi realizado com três blocos, os blocos foram pesados após serem retirados do tanque com água e depois de permanecerem por 24 horas na estufa. A Tabela 7 apresenta dos resultados obtidos.

Tabela 7 – Resultado do ensaio de absorção de água

Bloco	Bloco saturado (g)	Bloco seco (g)	Absorção de água (%)
1	4693,7	4530	3,61
2	4821,7	4684	2,94
3	4703,2	4581,9	2,65

Fonte: elaborada pela autora

Conforme os resultados da Tabela 7, é possível verificar que os três blocos submetidos ao ensaio de absorção de água estão em conformidade com a NBR 9781/2013, que exige que os blocos tenham o valor médio menor ou igual a 6%, não admitindo valores individuais maiores que 7%.

4.9 Dimensionamento do Pavimento

4.9.1 Número N

Conforme dados fornecidos pela empresa responsável pelo estacionamento do Centro Universitário Univates, a quantidade de veículos comerciais que acessam o prédio 16 da Univates por dia está apresentada na Tabela 8.

Tabela 8 – Número de veículos por dia que acessam o prédio 16

Tipo de veículo	Número de veículos por dia
Ônibus	35
Vans	17
Caminhão	1
Total	53

Fonte: elaborado pela autora.

Após ter conhecimento dos valores do número de veículos, procurou-se obter os valores de Fator de veículo (FV). Conforme Balbo (2007), o valor para ônibus é

de 0,79 e para caminhões 1,149. O Fator de carga (FC) referente às vans foi obtido através da Equação 5, conforme Manual de Pavimentação (DNIT, 2006).

$$FC = 2,0782 \times 10^{-4} \times P^{4,0175} \quad (5)$$

Onde:

P: carga por eixo (em tf), utilizado o valor de 2 tf.

Em seguida foi feito o cálculo do Fator de Eixo (FE), utilizando a Equação 6.

$$FE = \frac{\text{número de eixos}}{\text{quantidade de veículos}} \quad (6)$$

Após encontrar os valores de FC e FE, foi possível calcular o valor de Fator de Veículo (FV) para as vans através da Equação 7.

$$\begin{aligned} FV &= FC \times FE \\ FV &= 0,003 \times 2 = 0,006 \end{aligned} \quad (7)$$

Na Tabela 9, estão expressos os valores de fator de veículo utilizados para cada tipo de veículo que costuma acessar as vias do prédio 16 da Univates. Salienta-se que os veículos de passeio não foram considerados por resultarem em um fator de veículo muito baixo.

Tabela 9 – Fator de Veículo para cada tipo de veículo

Tipos de veículos	FV
Ônibus	0,790
Vans	0,006
Caminhão	1,149

Fonte: elaborado pela autora.

Posteriormente, obteve-se o Fator de Veículo geral para a frota, conforme mostra a Tabela 10.

Tabela 10 – Valor de Fator de Veículo para a frota

	% i	Fvi	%i x Fvi
35 Ônibus	66,04	0,79	52,17
17 Vans	32,07	0,006	0,19
1 Caminhão	1,89	1,149	2,17
	100		54,53

Fonte: elaborado pela autora

Para obter o valor do Fator de Veículo da Frota, utilizou-se a Equação 8.

$$FV_{frota} = \frac{\% i \times FVi}{100} = \frac{54,53}{100} = 0,545 \quad (8)$$

Dessa forma, adotou-se o Fator de Veículo da frota de 0,545.

Realizou-se o cálculo de VM (volume diário médio de tráfego), conforme a Equação 9.

$$V_m = \frac{V [2 + (P - 1) \cdot \frac{t}{100}]}{2}$$

$$V_m = \frac{53 [2 + (10 - 1) \cdot \frac{0,01}{100}]}{2} = 55 \quad (9)$$

Para o cálculo do VM, arbitrou-se uma taxa de crescimento anual (t) de 1% para a frota de veículos e o período de projeto (P) igual a 10 anos.

Com os valores encontrados anteriormente, é possível calcular o valor do Número N, conforme a Equação 10.

$$N = 365 \cdot P \cdot VM \cdot FV$$

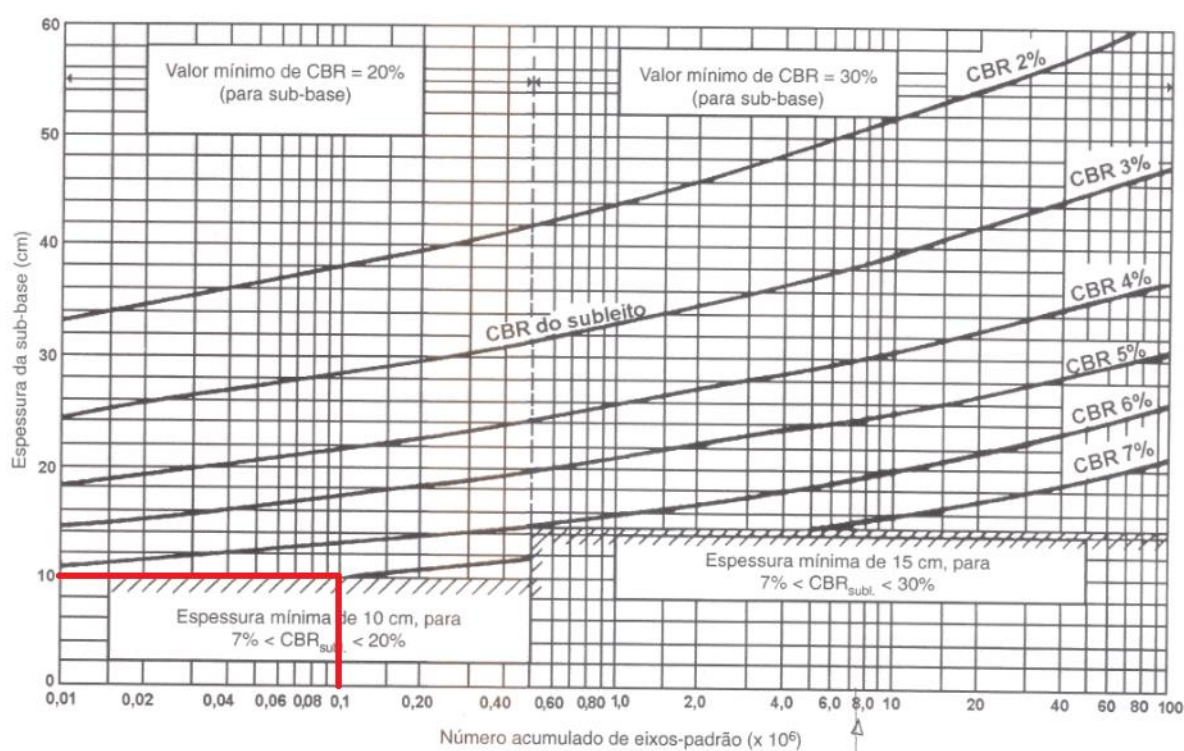
$$N = 365 \cdot 10 \cdot 55 \cdot 0,545 = 1,09 \times 10^5 \quad (10)$$

Portanto, o pavimento foi dimensionado para um Número N de 1,09x10⁵.

4.9.2 Espessura Necessária da Sub-base

Através do valor obtido no Número N e o resultado do ISC do subleito, foi possível identificar na Figura 27, a espessura mínima de 10 centímetros de brita graduada para a camada de sub-base.

Figura 27 – Espessura necessária de sub-base

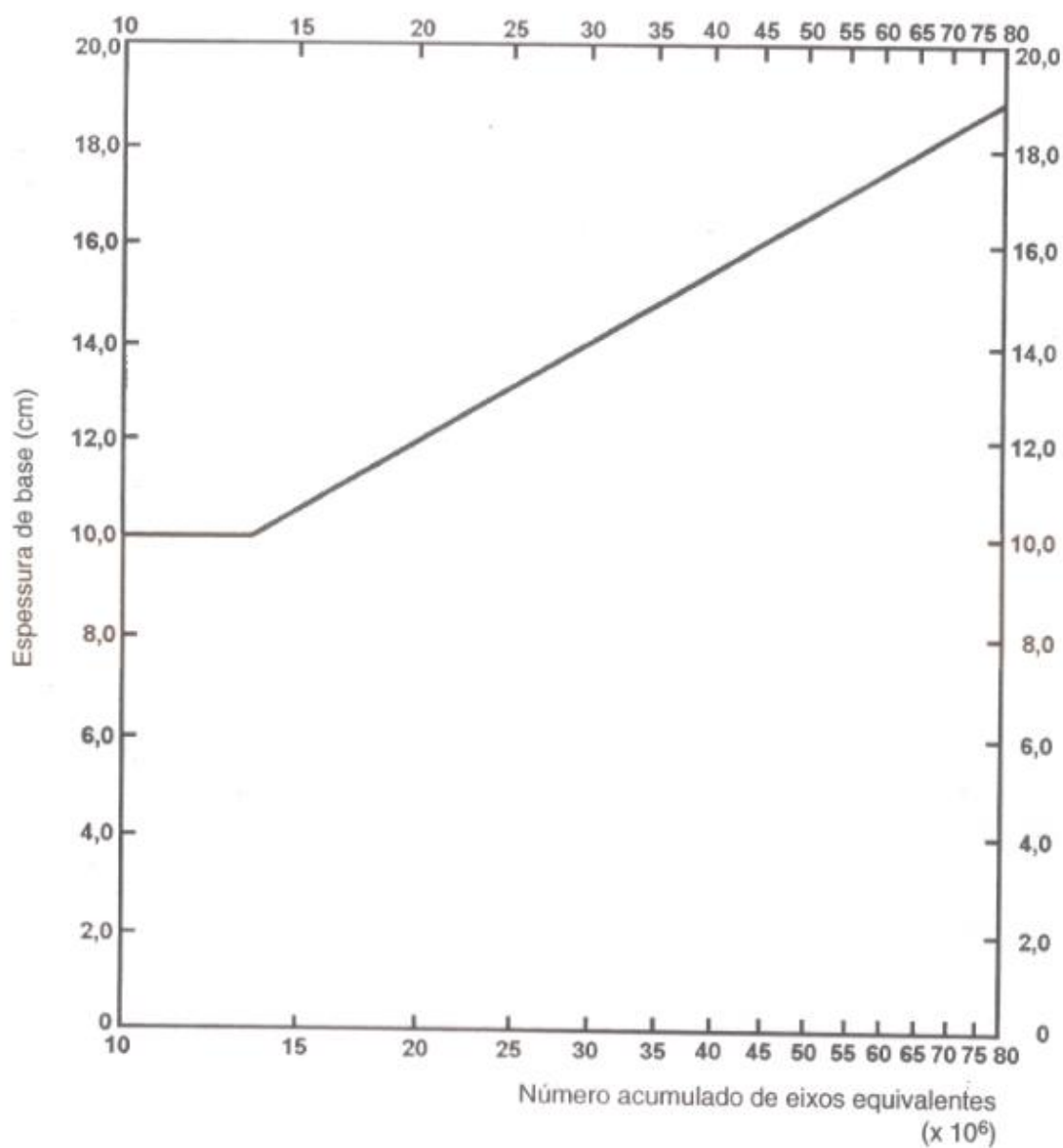


Fonte: Carvalho (1998).

4.9.3 Espessura Necessária da Base

Conforme a Figura 28 é possível observar que, como o número de solicitações do eixo padrão (Número N) é inferior a 10×10^6 , a camada de base não é necessária.

Figura 28 – Espessura necessária de base

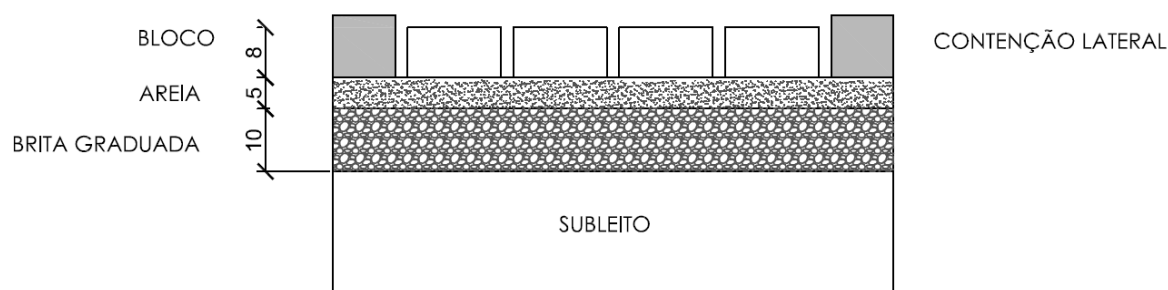


Fonte: Carvalho (1998).

4.9.4 Seção- tipo do Pavimento Dimensionado

A Figura 29 apresenta a seção tipo do projeto dimensionado do pavimento, para as condições estudadas.

Figura 29 – Seção tipo do pavimento dimensionamento



Fonte: elaborado pela autora.

Conforme observa-se, o pavimento dimensionado apresenta a seguinte estrutura:

- Revestimento com blocos intertravados, com espessura de 8 centímetros;
- Camada de areia para o assentamento, com espessura de 5 centímetros; e
- Camada de brita graduada, com espessura de 10 centímetros.

Por fim, apenas para título de curiosidade, destaca-se que inicialmente o pavimento executado na via de acesso ao prédio 16 do Centro Universitário Univates foi executado sem a existência da camada de brita graduada (Figura 15). Portanto, o pavimento original era composto apenas pelos blocos intertravados com espessura de 8 centímetros em conjunto com a camada de areia, com espessura de 5 centímetros. O pavimento mostrado na Figura 15 não apresentou o desempenho desejado e surgiram muitas deformações plásticas, mesmo com a passagem de poucos caminhões. Assim, o mesmo foi completamente reconstruído no início do ano de 2015.

Com os estudos realizados, foi possível constatar que o subleito existente na área de estudo é muito ruim e, possivelmente, nem mesmo o pavimento dimensionado com a camada a mais de 10 centímetros de brita graduada seria suficiente para evitar a formação de deformações plásticas.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo geral realizar o dimensionamento do pavimento com blocos intertravados de concreto no Centro Universitário Univates, e como principais objetivos específicos, analisar o solo do local do estudo e os blocos intertravados de concreto utilizados neste pavimento. Entende-se que foram atingidos plenamente todos os objetivos propostos. Dessa forma, com os resultados e as análises, foi possível chegar a algumas conclusões, a seguir explanadas e, além disso, algumas considerações para possíveis trabalhos futuros.

As principais conclusões referentes ao trabalho elaborado são as seguintes:

I) Referente à análise do solo, foi possível classificar o solo do subleito como A-7-5 pela classificação de AASHTO e caracterizá-lo como um solo argiloso com o comportamento ruim para subleito. O solo apresentou ISC médio de 11,25%;

II) Com os ensaios realizados com os blocos intertravados, verificou-se que os blocos possuem boa qualidade referente à absorção de água, entretanto, quanto a resistência à compressão deixou a desejar, pois dois blocos dos nove blocos submetidos ao ensaio de resistência à compressão não atingiram o valor exigido pela norma, que é de 35 MPa;

III) Em relação ao dimensionamento do pavimento utilizando blocos intertravados de concreto, chegou-se à conclusão de que seriam necessários utilizar uma camada de 10 centímetros de brita graduada, uma camada de 5 centímetros de areia para o assentamento dos blocos de 8 centímetros de espessura.

IV) Comparando o pavimento dimensionado com o pavimento que foi executado no Centro Universitário Univates, seria necessário acrescentar somente 10 centímetros de brita graduada. No entanto, acredita-se que essa quantidade de material não seria suficiente para impedir as deformações plásticas no pavimento, porque o solo do local se mostrou muito ruim.

Por fim, para desenvolvimento de futuros trabalhos, podem ser citadas as seguintes sugestões:

- Complementar o estudo com os materiais utilizados para sub-base (brita graduada);
- Realizar ensaios especiais para definir o comportamento resiliente de todos os materiais que compõe o pavimento;
- Utilizar *softwares* capazes de realizar a estimativa das tensões e deformações atuantes no pavimento.

REFERÊNCIAS

AMADEI, Daysa I. B. **Avaliação de blocos de concreto para pavimentação produzidos com resíduos de construção e demolição do Município de Juranda/PR**. Mestrado em Engenharia Urbana. Universidade Estadual de Maringá (UEM), 2011.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **NBR 6459:1984**. Solo - Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro: ABNT, 1984.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **NBR 7180:1984**. Solo - Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro: ABNT, 1984.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **NBR 9895/1987**. Solo – Índice de Suporte Califórnia – Método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 1987.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **NBR 7182:1988**. Solo – Ensaio de compactação. Rio de Janeiro: ABNT, 1988.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **NBR 9781:2013**. Peças de concreto para pavimentação - Especificação e métodos de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

CARVALHO, Marcos D. **Associação Brasileira de Cimento Portland – Estudo Técnico – Pavimentação com peças pré-moldadas de concreto**. São Paulo, junho de 1998.

CRUZ, Luiz M. **Pavimento intertravado de concreto**: estudo dos elementos e métodos de dimensionamento. 2003, 281 f. Dissertação (Mestrado) – Mestrado em Ciências em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003.

D'AGOSTIN, Francini G. **Dimensionamento de pavimento flexível e análise comparativa entre os custos do projeto de revitalização e uma proposta de reconstrução da SC-446 – Rodovia Jorge Lacerda**. 2010, 189 f. Monografia (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Universidade do Extremo Sul Catarinense

– UNESCO, Criciúma, 2010.

Departamento Nacional de Estradas e Rodagens. DNER-ME 049/94. **Solos:** determinação do Índice de Suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas. Rio de Janeiro, 1994. Disponível em: <<http://ipr.dnit.gov.br/normas/DNER-ME049-94.pdf>>. Acesso em: 25 maio 2015.

Departamento Nacional de Estradas e Rodagens. DNER-ME 051/94. **Análise Granulométrica.** Método de Ensaio. Disponível em: <<http://ipr.dnit.gov.br/normas/DNERME051-94.pdf>>. Acesso em: 25 maio 2015.

Departamento Nacional de Estradas e Rodagens. DNER-ME 082/94. **Solos:** Determinação do Limite de Plasticidade. Disponível em: <<http://ipr.dnit.gov.br/normas/DNER-ME082-94.pdf>>. Acesso em: 25 maio 2015.

Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte. **Instituto de Pesquisas Rodoviárias – IPR.** Disponível em: <<http://ipr.dnit.gov.br/>>. Acesso em: 25 maio 2015.

Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). **Manual de Pavimentação.** 3. ed. Rio de Janeiro, 2006.

FIORITI, Cesar F. **Pavimentos intertravados de concreto utilizando resíduos de pneus como material alternativo.** 2007.

FRANCO, Filipe A. C. de P. **Método de dimensionamento mecânico-empírico de pavimentos asfálticos – SISPAV.** 2007, 315 f. Tese (Doutorado) – Doutorado em Ciências em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003.

GODINHO, Dalter P. **Pavimento Intertravado:** uma reflexão sob a ótica da durabilidade e sustentabilidade. 2009, 158 f. Dissertação (Mestrado) – Mestrado Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

HARTMANN, Diego A. **Análise dos Defeitos e da Irregularidade de Pavimentos Flexíveis a partir do Guia Aashto.** 2004-2009.

HOOD, Rogério S. S. **Análise da viabilidade técnica da utilização de resíduos de construção e demolição como agregado miúdo reciclado na confecção de blocos de concreto para pavimentação.** 2006, 150 f. Dissertação (Mestrado) – Mestrado em Engenharia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

JUNIOR, Ivan J. A. **Pavimento intertravado como ferramenta de moderação do tráfego nos centros comerciais de travessias urbanas – Estudo de Caso Guaiúba, CE.** 2007, 221 f. Dissertação (Mestrado) – Mestrado em Ciências em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2007.

LIMA, Daniel A. S. **Pavimento Flexível para Trafego Leve.** 2003, 50 f. Monografia (Graduação) – Curso de Engenharia Civil com ênfase Ambiental, São Paulo, 2003.

MÜLLER, Rodrigo M. **Avaliação de transmissão de esforços em pavimentos intertravados de blocos de concreto**. 2005, 256 f. Dissertação (Mestrado) – Mestrado em Ciências em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

NABESHIMA, Cinthia K. Y.; ORSOLIN, Kátia; SANTOS, Rafael K. X. dos. **Análise comparativa entre sistemas de pavimentação urbana baseados em concreto asfáltico e blocos de concreto Intertravados (Pavers)**. 2001, 123 f. Monografia (Graduação) – Curso de Engenharia de Produção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

NETO, Rogério S. B. **Análise comparativa de pavimentos dimensionados através dos métodos empírico do DNER e Mecanístico e proposta para a região de Campo Grande (MS)**. 2004, 189 f. Dissertação (Mestrado) – Mestrado em Engenharia de Transportes, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.

OLHARES FOTOGRAFIA. **Via Ápia Pompeia Sicília**. Disponível em: <<http://olhares.uol.com.br/via-apia-pompeia-sicilia-foto982770.html>>. Acesso em: 25 maio 2015.

PETTERMANN, Rodrigo. **Avaliação do desempenho de blocos de concreto para pavimentação com Metacaulim e Sílica ativa**. 2006, 71 f. Monografia (Pós-Graduação) – Programa Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

PUHL, Rodrigo H. **Análise de melhoramento de solo do subleito com adição de cimento**. Monografia (graduação) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ, Santa Rosa, 2014.

STRECK, E. V. et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: EMATER/RS; UFRGS, 2002.

TISCOSKI, Douglas. **Análise da resistência à compressão simples da Mistura solo cimento e Perma-zyme® para fins Rodoviários**. Monografia (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2009.

WIKIPEDIA. **História de Paraty**. Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Hist%C3%B3ria_de_Paraty#/media/File:Brazil_paraty_narrow_street.jpg>. Acesso em: 25 maio 2015.

ANEXOS

ANEXO A – Resultados do ensaio de ISC 1



Proctor Normal

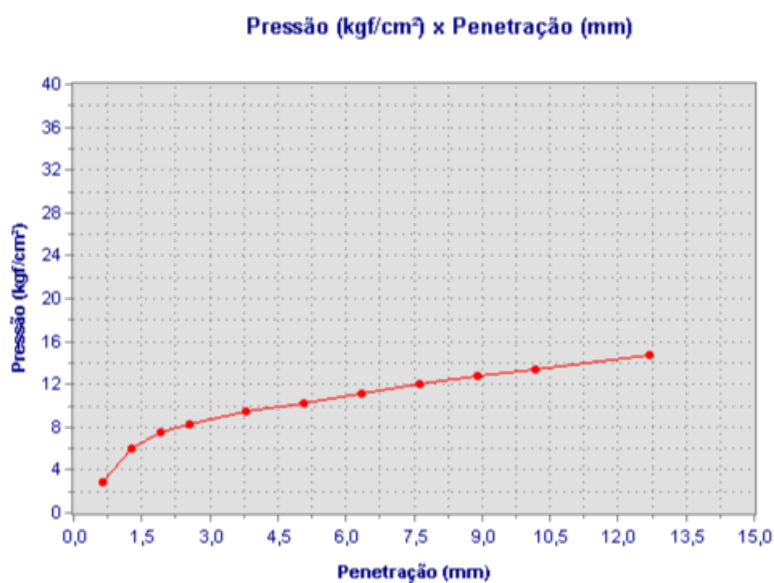
Dados Cadastrais da Amostra

Nome da amostra: gru po4
 Número Programa: 1
 Número da Amostra: 1
 Data do ensaio: 15/09/2015
 Responsável: 1
 Energia Compactação: Proctor Normal

Resultados do Ensaio Realizado

Penetração (mm)	Calculada (kgf/cm ²)	Corrigida (kgf/cm ²)	Padrão (kgf/cm ²)	ISC (%)
2,54	8,33		70,3	11,9
5,08	10,30		105,2	9,8

Gráfico do Ensaio Realizado



terça-feira, 15 de setembro de 2015

17:13:17

ANEXO B – Resultados do ensaio de ISC 2



Proctor Normal

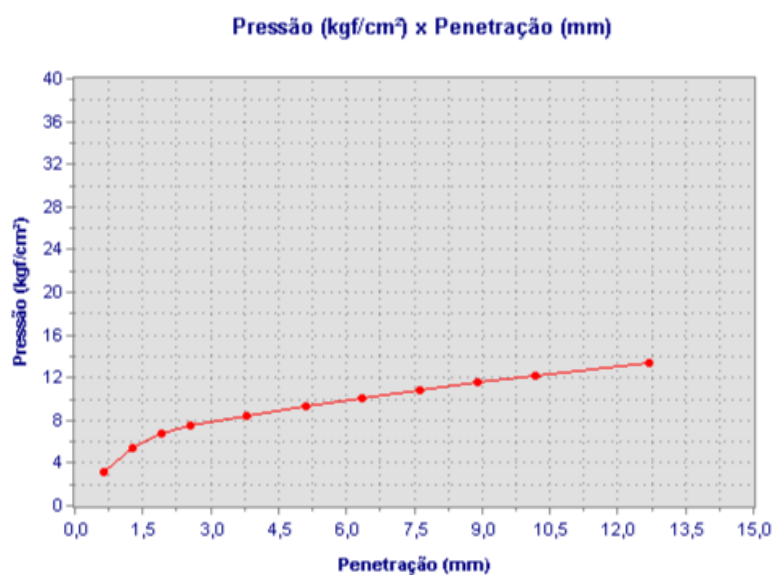
Dados Cadastrais da Amostra

Nome da amostra: gru po4
 Número Programa: 1
 Número da Amostra: 1
 Data do ensaio: 15/09/2015
 Responsável: 1
 Energia Compactação: Proctor Normal

Resultados do Ensaio Realizado

Penetração (mm)	Calculada (kgf/cm ²)	Corrigida (kgf/cm ²)	Padrão (kgf/cm ²)	ISC (%)
2,54	7,45		70,3	10,6
5,08	9,27		105,2	8,8

Gráfico do Ensaio Realizado



terça-feira, 15 de setembro de 2015

17:28:11

Fonte: Laboratório de Tecnologias de Construção – Latec.

