

**RODRIGO MACHADO**

**ESTUDO APLICADO DA SOLUÇÃO DE PROJETO DE  
PAVIMENTAÇÃO PARA PÁTIO DE ESTACIONAMENTO DE ÔNIBUS**

**Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao  
Centro de Engenharias da Mobilidade (CEM) da  
Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC),  
Campus Joinville, como requisito parcial para  
obtenção do título de Engenheiro de Infraestrutura.**

**Joinville – SC**

**2015**

# **ESTUDO APLICADO DA SOLUÇÃO DE PROJETO DE PAVIMENTAÇÃO PARA PÁTIO DE ESTACIONAMENTO DE ÔNIBUS**

**RODRIGO MACHADO**

**Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro de Engenharias da Mobilidade (CEM) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Campus Joinville, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro de Infraestrutura.**

**Curso: Engenharia de Infraestrutura**

**Orientador : Prof. Dr. Breno Salgado Barra**

**Co-orientador: Prof. Dr. Marcelo Heidemann**

**Joinville – SC**

**2015**

MACHADO, Rodrigo; MACHADO, R

Estudo Aplicado da Solução de Projeto de Pavimentação para Pátio de Estacionamento de Ônibus.

Joinville, 2015, volume único, 95p.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Infraestrutura),  
Curso de Graduação em Engenharia de Infraestrutura,  
Centro de Engenharias da Mobilidade (CEM) – Campus Joinville  
Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC

Orientador: Prof. Dr. Breno Salgado. Barra

Defesa: 09/07/2015

Palavras chave: pavimento intertravado, dimensionamento, pátio de estacionamento de ônibus

## **ESTUDO APLICADO DA SOLUÇÃO DE PROJETO DE PAVIMENTAÇÃO PARA PÁTIO DE ESTACIONAMENTO DE ÔNIBUS**

Este trabalho foi julgado para obtenção do título de graduado em Engenharia de Infraestrutura, e aprovado em sua forma final pela banca examinadora perante o curso de Engenharia de Infraestrutura da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Campus Joinville.

Prof<sup>a</sup>. Dr. Carolina Brandão Pereira de Souza.  
UFSC – Campus Joinville  
Centro de Engenharias da Mobilidade (CEM)  
Coordenadora do Curso Engenharia de Infraestrutura

### **Comissão Examinadora**

Prof. Dr. Breno Salgado Barra  
Orientador  
UFSC – Campus Joinville  
Centro de Engenharias da Mobilidade (CEM)

Prof. Dr. Marcelo Heidemann  
Co-orientador  
UFSC – Campus Joinville  
Centro de Engenharias da Mobilidade (CEM)

Prof. Dr. Yader Alfonso Guerrero Pérez  
UFSC – Campus Joinville  
Centro de Engenharias da Mobilidade (CEM)

Prof<sup>a</sup>. Adriana Goulart dos Santos  
UDESC – Centro de Ciências Tecnológicas (CCT)  
Departamento de Engenharia Civil (DEC)

Joinville, 09 de Julho de 2015

## **AGRADECIMENTOS**

À minha mãe, Marcia Aparecida Ilario Machado e meu pai Sady Machado Filho, grandes incentivadores em todas as fases da minha vida, contribuindo decisivamente neste trabalho e na minha vida.

Ao meu irmão Evandro Machado, pelos conselhos em todo o período de engenharia, sendo exemplo de dedicação e sucesso.

Ao meu amor, Cristina Savi, pela dedicação, apoio, carinho, e principalmente compreensão nos momentos mais difíceis.

À família Savi, EneDir, Isabel e Daniel, pelo incentivo, confiança e distração nos momentos oportunos.

Ao meu orientador, Professor Breno Salgado Barra, pela dedicação, companheirismo e confiança durante a elaboração do presente trabalho.

Aos professores da Universidade Federal de Santa Catarina, pelos ensinamentos transmitidos. Em especial ao Professor Marcelo Heidemann, pelos conselhos e auxílio neste trabalho.

Aos colegas de laboratório e de curso, em especial, Lucas dos Santos e Ramon Fernandes, transformando as longas horas de compactação mais agradáveis.

A empresa de ônibus colaboradora, em especial ao Gerente de Manutenções Romulo Caldart e Planejador de Manutenção Maiko Moreira, que não mediram esforços em fornecer informações importantes para a pesquisa, ferramentas e maquinário para escavação do pátio.

As empresas colaboradoras, pelo incentivo e auxílio ao dispor de materiais para realização da pesquisa.

Aos grandes amigos, aqueles de longa data e aos amigos que nos últimos anos estiveram presentes na árdua, mas gratificante caminhada da engenharia.

A todos os envolvidos, meu muito obrigado.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE ABREVIACÕES</b>	iv
<b>LISTA DE FIGURAS</b>	v
<b>LISTA DE TABELAS</b>	viii
<b>RESUMO</b>	ix
<b>ABSTRACT</b>	x
<b>CAPÍTULO 1</b>	
<b>INTRODUÇÃO</b>	1
1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS	1
1.2. OBJETIVOS DA PESQUISA	2
1.2.1. Objetivo Geral	2
1.2.2. Objetivos Específicos	2
1.3. PROCEDIMENTOS PARA ALCANÇAR O OBJETIVO	3
1.4. DELIMITAÇÃO DO ESPAÇO DE PESQUISA	4
1.5. PROBLEMÁTICA DO TEMA: JUSTIFICATIVAS	5
1.6. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	6
<b>CAPÍTULO 2</b>	
<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	7
2.1. CONCEITOS PAVIMENTAÇÃO	7
2.2. PAVIMENTO INTERTRAVADO	7
2.2.1. Peças Pré-Moldadas de Concreto	9
2.2.2. Areia de Assentamento	14
2.2.3. Areia de Rejuntamento	16
2.2.4. Base e Sub-base	16
2.2.5. Subleito	17
2.3. DISTRIBUIÇÃO DE CARGA	18
2.3.1. Intertravamento Horizontal	19
2.3.2. Intertravamento Vertical	19
2.3.3. Intertravamento Rotacional	20
2.4. DIMENSIONAMENTO PAVIMENTO INTERTRAVADO	21

2.4.1. Método ABCP (1999) – Estudo Técnico n 27° Associação Brasileira de Cimento Portland	21
2.4.2. Estudos de Raymondo PELTIER	25
2.4.3. Proposta de COOK	26

### **CAPÍTULO 3**

<b>MATERIAIS ESTUDADOS</b>	29
3.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS	29
3.2. MATERIAIS E MÉTODOS	31
3.2.1. Subleito - Solo 1	35
3.2.1.1. Procedimento de Coleta e Armazenamento	35
3.2.1.2. Caracterização do Solo	36
3.2.1.3. Ensaio de Compactação (Proctor)	37
3.2.1.4. Índice de Suporte Califórnia (CBR) e Expansão	40
3.2.1.5. Penetrômetro Dinâmico Leve	44
3.2.2. Subleito - Solo 2	48
3.2.2.1. Procedimento de Coleta	48
3.2.2.2. Caracterização do Solo	49
3.2.2.3. Penetrômetro Dinâmico Leve	50
3.3. INVENTÁRIO DE OCORRÊNCIAS	52
3.3.1. Solo Argiloso	55
3.3.2. Saibro Arenoso	61
3.3.2.1. Índice de Desgaste após Compactação Marshall sem Ligante	62
3.3.3. Brita Graduada Simples (BGS)	66
3.3.4. Areia	69
3.3.5. Revestimento	75

### **CAPÍTULO 4**

<b>DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO</b>	78
4.1 ESTUDO DO TRÁFEGO	78
4.1.1. Determinação do Número de Operações do Eixo Padrão (N)	79
4.2. COMPOSIÇÃO DA ESTRUTURA DO PAVIMENTO	83
4.2.1. Revestimento	84
4.2.2. Areia de Assentamento	85

4.2.3. Subleito, Reforço do Subleito, Sub-base e Base	85
4.3. MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO	88
4.4. SOLUÇÃO FINAL DE PAVIMENTAÇÃO	89
<b>CAPÍTULO 5</b>	
<b>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES</b>	90
<b>REFERÊNCIAS</b>	92



## LISTA DE ABREVIACOES

AASHTO	- American Association of State Highway and Transportation Officials
ABCP	- Associação Brasileira de Cimento Portland
ABEDA	- Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Asfaltos
ABNT	- Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABNT	- Associação Brasileira de Normas Técnicas
ADF	- Areia Descartada de Fundição
ARM	- Areia de Reciclagem Mista
CCR	- Concreto compactado com rolo
DER-SP	- Departamento de Estradas de Rodagem de São Paulo
DNER	- Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
DNIT	- Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes
DPL	- Penetrmetro Dinâmico Leve
ESRD	- Eixo Simples de Rodagem Dupla
ET - 27	- Estudo Técnico n 27
ID <sub>m</sub>	- ndice de Desgaste após Compactação sem Ligante
ID <sub>mL</sub>	- ndice de Desgaste após Compactação com Ligante
LCPC	- Laboratoire Central des Ponts et Chaussées
LTI	- Laboratório de Técnicas em Infraestrutura
N	- Número de Operações do Eixo Padrão
NBR	- Norma Brasileira
PAVI-S	- Peça pré- moldada de concreto segmentada em S
PI	- Pavimento Intertravado
PPC	- Peças pré- moldadas de cimento
SC	- Santa Catarina
SPT	- Standard Penetration Testing
UFSC	- Universidade Federal de Santa Catarina
USACE	- United States Army Corps of Engineers

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1	- Etapas para o dimensionamento do pavimento	04
Figura 2.1	- Estrutura típica de um pavimento intertravado	09
Figura 2.2	- Comparação entre os formatos de PPC	11
Figura 2.3	- Efeito da espessura das peças de concreto	12
Figura 2.4	- Principais tipos de arranjos	13
Figura 2.5	- Efeito da espessura da camada de assentamento no desempenho	14
Figura 2.6	- Classificação das bases e sub-bases flexíveis e semi-rígidas	16
Figura 2.7	- Distribuição de Cargas	18
Figura 2.8	- Deslocamento das peças pré-moldadas de concreto	20
Figura 2.9	- Espessura Necessária para Sub-base	23
Figura 2.10	- Espessura da base cimentada em função do número “N”	24
Figura 2.11	- Estrutura de pavimento intertravado tipicamente utilizada para soluções de pavimentação para tráfego muito leve e leve	24
Figura 2.12	- Fluxograma para dimensionamento empírico em tráfego leve – pedestres e veículos leves	27
Figura 2.13	- Fluxograma para dimensionamento empírico para tráfego leve – veículos leves e poucos veículos pesados	28
Figura 3.1	- Planta da área do pátio de estacionamento de ônibus estudado	30
Figura 3.2	- Revestimento pátio 1	31
Figura 3.3	- Revestimento pátio 2	32
Figura 3.4	- Materiais presente nas estruturas atuais	34
Figura 3.5	- Visão geral da (a) planta de localização e do (b) poço de sondagem	35
Figura 3.6	- Solo 1	36
Figura 3.7	- a) acréscimo de água; b) colocação solo no cilindro; c) compactação; d) rasamento; e) cilindro rasado.	38
Figura 3.8	- Curva de compactação – Solo 1	39
Figura 3.9	- Corpo de prova sendo ensaiado	41
Figura 3.10	- Corpo de prova após penetração do pistão	42

Figura 3.11	- Curva CBR – Solo 1	42
Figura 3.12	- Equipamento DPL	44
Figura 3.13	- Ensaio DPL realizado no solo 1	45
Figura 3.14	- Leitura da penetração	46
Figura 3.15	- Ensaio DPL em corpo de prova	47
Figura 3.16	- Curva DPL – Solo 1	47
Figura 3.17	- Perfil geotécnico DPL – Solo 1	47
Figura 3.18	- Visão geral da (a) Planta de localização e do (b) poço de sondagem	48
Figura 3.19	- Solo argiloso presente no pátio 2	49
Figura 3.20	- Execução ensaio DPL no pátio 2	50
Figura 3.21	- Curva DPL – Solo 2	51
Figura 3.22	- Perfil geotécnico DPL – Solo 2	51
Figura 3.23	- Jazida A	52
Figura 3.24	- Jazida B	53
Figura 3.25	- Mapa de localização - inventário de ocorrências	54
Figura 3.26	- Solo Argiloso – Jazida A	55
Figura 3.27	- Areia de Fundação e Solo Argiloso	57
Figura 3.28	- Compactação Proctor com 50% ADF	57
Figura 3.29	- Curvas de compactação – Argila/ADF	58
Figura 3.30	- Variação da expansão em função do teor de ADF adicionado	59
Figura 3.31	- Figura 3.34 – CBR versus teor de areia de fundição adicionada ao solo argiloso	60
Figura 3.32	- Saibro – Jazida A	61
Figura 3.33	- Amostra antes da compactação Marshall	63
Figura 3.34	- Corpo de prova sendo ensaiado no soquete Marshall	63
Figura 3.35	- Saibro após compactação Marshall	64
Figura 3.36	- Curvas granulométricas Saibro - Ensaio ID <sub>m</sub>	65
Figura 3.37	- Brita Graduada Simples – Jazida A	66
Figura 3.38	- Curva de Compactação – Brita Graduada Simples – Jazida A	67
Figura 3.39	- Curva de CBR – Brita Graduada Simples – Jazida A	68
Figura 3.40	- Curva Granulométrica BGS – Jazida A	68
Figura 3.41	- Ensaio de granulometria por peneiramento	69

Figura 3.42	- Escavadeira extraindo areia e carregando o caminhão basculante – Jazida B.	70
Figura 3.43	- Areia B - Clara e Areia B - Escura	70
Figura 3.44	- Curvas granulométricas das areias – Jazida B	71
Figura 3.45	- Processo de reciclagem de resíduos.	72
Figura 3.46	- Reciclagem de materiais provenientes de resíduos da construção civil - Empresa A.	73
Figura 3.47	- Areia Reciclada Mista – Empresa A	73
Figura 3.48	- Faixa granulométrica ARM, em relação à faixa granulométrica proposto por CARVALHO(1998)	74
Figura 3.49	- Etapas do processo construtivo de peças de concreto	76
Figura 3.50	- Fabricação PPC	77
Figura 3.51	- Cura dos PPC	77
Figura 4.1	- Ônibus comercial presente em Joinville/SC	79
Figura 4.2	- Arranjo espinha de peixe em bloco PAVI-S	84
Figura 4.3	- Solução final de pavimentação do projeto	89

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1	- Granulometria recomendada de areia a ser utilizada no colchão	15
Tabela 2.2	- Classificação das vias e parâmetros de tráfego	22
Tabela 2.3	- Diretrizes para o dimensionamento da camada de sub-base	23
Tabela 2.4	- Espessura e resistência das peças pré-moldadas de concreto	25
Tabela 3.1	- Quantitativos das áreas dos pátios	31
Tabela 3.2	- Energias de compactação Proctor	38
Tabela 3.3	- Ensaio compactação – Solo 1	39
Tabela 3.4	- Resultado do ensaio de compactação	40
Tabela 3.5	- Expansão obtida – Solo 1	41
Tabela 3.6	- Resultado Índice de Suporte Califórnia	43
Tabela 3.7	- Dados Solo Argiloso – Jazida A.	55
Tabela 3.8	- Resultado Ensaio Compactação – Argila/ADF	58
Tabela 3.9	- Resultados obtidos através do ensaio de CBR em relação ao acréscimo de areia descartada de fundição.	59
Tabela 3.10	- Informações Saibro Arenoso – Jazida A	62
Tabela 3.11	- Resultado ensaio ID <sub>M</sub>	65
Tabela 3.12	- Faixas granulométricas - (DNIT, 2010)	67
Tabela 3.13	- Porcentual Passante das areias A e B – Jazida B	71
Tabela 3.14	- Porcentual Passante das areias estudadas	74
Tabela 3.15	- Traço adotado para fabricação das peças de concreto – Empresa A	76
Tabela 3.16	- Resultado ensaio à compressão simples – Empresa A	77
Tabela 4.1	- Contagem do tráfego	80
Tabela 4.2	- Resultado V <sub>p</sub> , V <sub>m</sub> e V <sub>t</sub>	81
Tabela 4.3	- Fatores de equivalência de carga do USACE	82
Tabela 4.4	- Fator de carga (FC)	82
Tabela 4.5	- Fator de Eixo (FE)	83
Tabela 4.6	- Classificação das camadas	87

## RESUMO

Os pátios de estacionamento de empresas de ônibus nas cidades brasileiras de médio e grande porte apresentam, via de regra, condições indesejáveis de trafegabilidade da frota de veículos, em razão de diversas condicionantes, podendo citar os poucos recursos e rigor técnico destinados aos projetos básicos e executivos de pavimentação, utilização de solos de fundação com capacidade de suporte deficiente e sem nenhum tipo de medida corretiva, e a escolha errônea da solução de pavimentação. Neste contexto, o objetivo deste trabalho de conclusão de curso tange ao estudo da técnica de pavimentação intertravada com peças pré-moldadas de concreto de cimento Portland, quando utilizada como solução de projeto, mais especificamente em pátio de estacionamento de ônibus, ressaltando os aspectos técnicos vantajosos desta escolha, principalmente em locais onde as cargas solicitantes são consideradas intensas e as velocidades baixas, com elevada frequência de manobras. Para tanto, foi procedido um estudo de caso aplicado em um pátio de estacionamento de uma empresa de ônibus com sede na cidade de Joinville, localizada na região norte do Estado de Santa Catarina (SC), compreendendo a totalidade da área de circulação da frota, a partir da compilação dos dados de tráfego local e do estudo geotécnico do terreno de fundação (subleito) existente. Os referidos estudos geotécnicos também foram aplicados em ocorrências de solos provenientes de jazidas localizadas na Região Metropolitana de Joinville, para fins de composição da estrutura de pavimento proposta. Adicionalmente foi testado o uso de Areia Descartada de Fundação (ADF) como solução para redução da expansibilidade dos solos de subleito local e de seu respectivo reforço. Os resultados obtidos neste trabalho indicam, que mesmo em face das limitações técnicas provenientes das metodologias de dimensionamento utilizadas no Brasil e também das características dos materiais disponibilizados para a pesquisa, que as soluções de projeto de pavimentação com blocos intertravados de concreto de cimento Portland é uma alternativa viável no aspecto técnico para pátios de estacionamento de ônibus, caso os princípios de concepção sejam adotados corretamente, resultando em estruturas capazes de atender à trilogia conforto, segurança e economia de custos com a operação dos veículos.

Palavras-chave: pavimento intertravado, dimensionamento, pátio de estacionamento de ônibus.

## **ABSTRACT**

The parking lots of bus companies in medium and large Brazilian cities have, usually, undesirable conditions of the vehicle fleet traffic, due to various conditions, can cite the few resources and technical rigor for the basic project execution paving, use of foundation soils to support low capacity and without any corrective measure, and the wrong option of paving solution. In this context, the objective of this work is the study of interlocking paving technique with pre molded parts of Portland cement concrete, when used as a design solution, more specifically in bus parking lot, highlighting the technical aspects of this choice, especially in places where the applied loads are considered intense and low speeds, with high frequency maneuver. Was performed a study in a parking lot of a bus company in Joinville, located in northern of Santa Catarina State, include the total circulation area of the fleet, from local traffic data and geotechnical study of the foundation ground (subgrade) existing. These geotechnical studies were also applied in soil occurrences from deposits located in the metropolitan region of Joinville, for composition purposes pavement structure. Farther it was tested using discarded foundry sand as a solution to reduce the expansion of the local subgrade soil and its reinforcement. The results of this study show that even with technical limitations from the sizing methodologies used in Brazil and also the characteristics of the materials available for research, paving design solutions with interlocking blocks of Portland cement concrete is a viable alternative in the technical aspect of bus parking lots, if the design principles are adopted correctly, resulting in structures able to meet comfort, safety and cost savings with the operation of vehicles.

Keywords: Paving interlocked, sizing, parking lots of bus.

## **CAPÍTULO 1**

### **INTRODUÇÃO**

#### **1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS**

O sucesso dos pavimentos de peças pré-moldadas de concreto em todo o mundo pode ser atribuído à maneira única pela qual combinam os três requisitos fundamentais na pavimentação: capacidade estrutural, estética e integração com o ambiente (GODINHO 2009).

A utilização da pavimentação intertravada de peças pré-moldadas de concreto é crescente no Brasil, CRUZ (2003) menciona que este consumo tem sido registrado pela Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) como um dos mais expressivos produtos pré-moldados que utilizam o cimento Portland.

Apesar da grande utilização, o aspecto técnico em relação ao dimensionamento não é tão abrangido no Brasil, a normatização vigente em relação ao pavimento intertravado corresponde a NBR 9781 (2013) - "Peças de concreto para pavimentação", porém, apenas menciona as especificações para as peças de concreto, em relação à resistência à compressão simples e dimensões dos blocos. Neste contexto, GODINHO (2009) comenta a necessidade da criação de um anexo de recomendações para a execução do pavimento intertravado, limitando a espessura do colchão de areia e definindo materiais e espessuras de camadas de base e técnicas de assentamento.

Atualmente, os métodos de dimensionamento de pavimentação intertravada são em sua maioria voltados para tráfego leve a médio, com poucas referências ao tráfego pesado, podendo citar como os mais utilizados no Brasil, o método de COOK (1996), estudos de Raymond Peltier (1969) e o método da ABCP ET-27 (1999).

Por ainda haver uma limitada abrangência em relação ao dimensionamento de pavimento com peças pré-moldadas de concreto, um estudo de caso abrangendo um pátio de estacionamento de ônibus na cidade de Joinville, Santa Catarina, é efetuado, com o intuito da realização de um projeto de pavimentação intertravada, o qual investigará as dificuldades encontradas no dimensionamento deste tipo de estrutura, a partir de estudos referentes às características físicas e mecânicas dos materiais utilizados na solução proposta.



## **1.2. OBJETIVOS DA PESQUISA**

### **1.2.1. Objetivo Geral**

Realizar um projeto de pavimentação com o uso de blocos pré-moldados intertravados de concreto de cimento Portland, compreendendo um estudo de caso aplicado em um pátio de estacionamento de ônibus, localizado na cidade de Joinville, Santa Catarina, com o intuito de dimensionar a estrutura de pavimento necessária ao suporte da carga solicitante aplicada durante o período de projeto estipulado.

### **1.2.2. Objetivos Específicos**

Para o alcance do objetivo geral são traçados os seguintes objetivos específicos:

- Reconhecimento do pátio de estacionamento de ônibus a ser estudado, definindo as condições do pavimento atual, bem como quantidade e localização das prospecções a serem realizadas com objetivo de caracterizar o solo natural;
- Realizar estudos de caracterização geotécnica do subleito existente;
- Estudar o tráfego presente no pátio de estacionamento de ônibus, para fins de determinação do número de operações do eixo padrão (N) na estrutura do pavimento local;
- Verificar ocorrências de solos (jazidas) existentes na região do estudo com potencial para utilização no projeto de pavimentação;
- Dimensionar a estrutura de pavimento, tendo como referência as metodologias adotadas no Brasil, para soluções com blocos intertravados de concreto de cimento Portland.

### 1.3. PROCEDIMENTOS PARA ALCANÇAR O OBJETIVO

Para o desenvolvimento do estudo aplicado da solução de projeto de pavimentação, procedeu-se inicialmente a seleção do pátio de estacionamento a ser estudado, onde se verificou toda a área de abrangência a ser dimensionado o pavimento, analisando as estruturas de pavimentação atuais e definindo possíveis locais de abertura de poços de sondagem. Tais poços objetivam a caracterização e reconhecimento dos aspectos de suporte e expansão dos solos naturais presentes no pátio.

Os métodos utilizados para caracterização dos solos de subleito iniciaram previamente *in situ*, utilizando os métodos táteis visuais de caracterização e a utilização do equipamento Penetrômetro Dinâmico Leve (DPL), posteriormente em laboratório foram realizados os ensaios de Compactação Proctor e Índice de Suporte Califórnia, também denominado California Bearing Ratio (CBR), a partir destes foram conhecidos os dados pertinentes para o estudo do solo de fundação, fundamentais para o dimensionamento do projeto de pavimento.

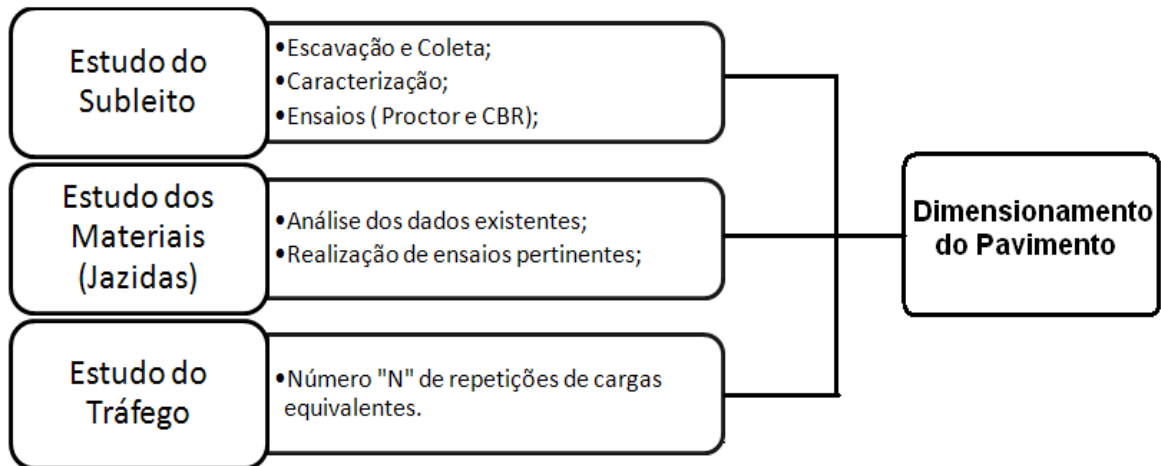
Para a completa análise no pátio de ônibus foi realizado um estudo do tráfego a partir de informações fornecidas pela empresa de ônibus a respeito da frota e horários de pico, sendo utilizado a determinação do número de operações do eixo padrão (N) para a obtenção do parâmetro do tráfego, e posterior utilização nos métodos de dimensionamento de pavimento intertravados.

Conhecida as características geotécnicas e de tráfego, procedeu-se à seleção de jazidas e empresas para a coleta de materiais para a verificação da utilização como inventário de ocorrências na pavimentação (solo argiloso, saibro arenoso, brita graduada simples, areia e peças pré-moldadas de concreto). A verificação dos materiais foi realizada a partir de dados geotécnicos, juntamente com ensaios laboratoriais pertinentes, sendo que para a aceitação foi realizada uma comparação com as normatizações do DNIT (2010), ABCP (2010) e CARVALHO (1998).

Pesquisou-se a redução da expansibilidade natural de solos argilosos, utilizando a adição de Areia Descartada de Fundação (ADF), com o intuito de aceitação do material obtido para reforço e adequação do subleito presente. Para tal são realizados os ensaios de Compactação Proctor e Índice de Suporte Califórnia.

De posse dos resultados obtidos, efetuou-se o dimensionamento do pavimento, aplicando métodos de pavimento intertravado utilizados no Brasil e especificando os materiais e espessuras finais das camadas.

A Figura 1.1 demonstra as três etapas principais de obtenção de parâmetros para a realização do dimensionamento final do pavimento.



**Figura 1.1 - Etapas para o dimensionamento do pavimento.**

#### **1.4. DELIMITAÇÃO DO ESPAÇO DA PESQUISA**

Os trabalhos de prospecção e caracterização tátil-visual dos solos de subleito foram realizados no pátio de estacionamento utilizado como estudo de caso, localizado na região sul da cidade de Joinville-SC.

Os materiais utilizados no projeto para as camadas do pavimento são provenientes de jazidas e empresas localizados na região Metropolitana de Joinville, buscou-se materiais de quatro locais distintos para a análise dos dados fornecidos, juntamente com a realização de ensaios pertinentes e posterior verificação de aceitação na solução de pavimentação. Para a preservação dos nomes das empresas colaboradoras deste trabalho, a pedido de seus responsáveis, não foram citados nominalmente no decorrer dos capítulos seguintes, atendo-se em denominá-las por letras (A, B, etc...).

Os ensaios realizados no trabalho foram realizados nas instalações da Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Joinville, sendo os ensaios de Compactação Proctor e CBR, realizados no Laboratório de Mecânica dos Solos, e os ensaios de

Granulometria e Índice de Degradação após Compactação Marshall sem Ligante ( $ID_m$ ) realizados no Laboratório de Técnicas em Infraestrutura (LTI).

### **1.5. PROBLEMÁTICA DO TEMA: JUSTIFICATIVAS**

As médias e grandes cidades brasileiras desenvolveram-se em grande escala nas duas últimas décadas, gerando dificuldades ao tratar-se de mobilidade urbana.

Uma das soluções encontradas para amenizar este problema é a utilização dos transportes coletivos, sendo o ônibus o principal veículo disponibilizado para este fim, resultando em um aumento considerável da frota nas empresas especializadas.

O aumento da frota de ônibus imputa às empresas responsáveis pela sua gestão um forte problema relacionado aos pátios de estacionamento, uma vez que, em geral, se encontram em situações desfavoráveis em relação às condições de trafegabilidade dos veículos.

O principal motivo destas condições está interligada com o projeto de dimensionamento do pavimento, sendo este concebido de maneira incorreta ou mesmo inexistente, com o intuito de reduzir custos.

As consequências desta dinâmica descrita são pátios de estacionamento de ônibus normalmente em estado crítico de funcionalidade, necessitando de intervenções constantes, aumentando o dispêndio de capital com restaurações da estrutura de pavimento e com as manutenções dos veículos, contribuindo sobremaneira para a diminuição dos aspectos relacionados ao conforto e à segurança de trafegabilidade.

Dado o exposto, verifica-se que o objetivo deste trabalho em dimensionar uma estrutura de pavimento intertravado para as condições de tráfego de um pátio de estacionamento de ônibus está em acordo com as necessidades de um projeto desta natureza, quando se detém em investigar, depurar e propor solução ao problema, a partir da análise das condições locais de tráfego, de ocorrência de materiais e do tipo de solução de pavimentação adotada em projeto.

## 1.6. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

A apresentação do trabalho está assim organizada:

- Capítulo 1** - Introduz o tema e aborda os aspectos gerais para a sua execução, deixando o leitor integrado aos propósitos da pesquisa.
- Capítulo 2** - Aborda a fundamentação teórica dos conceitos da pavimentação intertravada com peças pré-moldadas de concreto, abrangendo características, vantagens e desvantagens, sendo abordadas as camadas e métodos pertinentes ao dimensionamento do pavimento.
- Capítulo 3** - Discorre sobre os materiais e métodos utilizados, abordando os estudos realizados no pátio de estacionamento, apresentando os ensaios executados para a caracterização e verificação dos dados pertinentes ao solo natural local. Neste capítulo também são analisados os potenciais materiais utilizados nas camadas da estrutura, a partir da realização de ensaios para a verificação da aceitação dos mesmos.
- Capítulo 4** - Execução do estudo do tráfego relacionado à frota circulante no pátio de estacionamento em estudo, para fins de determinação do número de operações do eixo padrão (N) previsto para o período de projeto estipulado, bem como a proposição do dimensionamento da estrutura de pavimento aplicando as metodologias utilizadas no Brasil.
- Capítulo 5** - Apresenta as conclusões e recomendações provenientes da pesquisa.

## **CAPÍTULO 2**

### **REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Neste capítulo são apresentados os aspectos técnico-teóricos referentes à solução de pavimentação intertravada utilizando peças pré-moldadas de concreto, abrangendo suas características, vantagens e desvantagens, bem como os formatos, dimensões e arranjos das peças.

As cargas solicitantes e os métodos de dimensionamento existentes também são tratados, sendo elementos de projeto essenciais para o entendimento do tema pesquisado.

#### **2.1. CONCEITOS PAVIMENTAÇÃO**

Segundo o Manual de Pavimentação do DNIT (2006), pavimento é uma superestrutura constituída por um sistema de camadas de espessuras finitas, assentes sobre um semi-espaço considerado teoricamente como infinito, à qual é designada de subleito.

Entretanto, MOMM (1998) amplia o conceito de pavimento, definindo-o como uma estrutura constituída de diversas camadas, compostas por diversos materiais distribuídos em um espaço semi-infinito, projetada e construída para resistir às solicitações das cargas repetitivas e dinâmicas, além das ações intempéricas no horizonte temporal de projeto.

#### **2.2. PAVIMENTO INTERTRAVADO**

De acordo com MARCHIONI (2012), pavimento intertravado (PI) é definido como um pavimento flexível, cuja estrutura é composta por uma camada de base (ou base e sub-base), seguida de assentamento para camada de revestimento de peças pré-moldadas de concreto.

Porém, a utilização do termo flexível não é adequada tecnicamente para este tipo de solução de pavimentação, pois estruturas desta natureza, isto é, flexíveis, normalmente são compostas por camadas de revestimento esbeltas constituídas por materiais viscoelásticos lineares, como os concretos asfálticos, que transmitem

integralmente as tensões oriundas da aplicação das cargas solicitantes às camadas subjacentes, o que não ocorre com os pavimentos intertravados, em que a camada de revestimento é responsável pela transmissão de esforços tangenciais entre os blocos e também pela absorção de parte da carga aplicada verticalmente (GUIDE TECHNIQUE (1994).

No Brasil, a pavimentação intertravada com uso de peças pré-moldadas é amplamente utilizada, sendo estas indicadas tanto para tráfego leve, no caso de calçadas, praças e vias públicas, como para tráfego pesado, onde se incluem estacionamentos de veículos pesados e pátio de cargas. A Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP, 2010) menciona que o uso das peças intertravadas que utilizam cimento Portland detém um dos mais expressivos consumos dentro dos produtos pré-moldados.

A utilização do pavimento intertravado em grande escala é influenciada por este tipo de solução deter função estrutural aliada à estética. Outros fatores importantes que precisam ser ressaltados são (ABCP, 2010; MULLER, 2005):

- Facilidade de manutenção: as peças podem ser retiradas pontualmente para a realização de uma eventual manutenção na estrutura, sem a necessidade de comprometer o restante do arranjo estrutural já acabado;
- Liberação imediata ao tráfego, ou seja, logo após o término do processo executivo;
- Possibilidade de produção de blocos em larga escala;
- Solução adequada para resistir aos esforços tangenciais em áreas de manobra, devido ao arranjo intertravado entre os blocos permitir a transmissão das tensões horizontais rapidamente e sem deslocamento.

A aplicação do pavimento intertravado, assim como outros métodos, também possui suas desvantagens, podendo citar:

- Processo executivo artesanal, logo, lento;
- Demanda uma numerosa equipe de trabalho nos casos em que é necessário executar longas distâncias em um curto espaço de tempo;

- Estrutura de pavimento, principalmente o arranjo intertravado do revestimento, muito sensível as deformações das camadas subjacentes.

A estrutura típica de um pavimento intertravado pode ser vista na Figura 2.1, sendo ela composta por revestimento de peças pré-moldadas de concreto, seguida de areia de assentamento, base, sub-base e eventual reforço de subleito assentes sobre o solo de subleito presente.

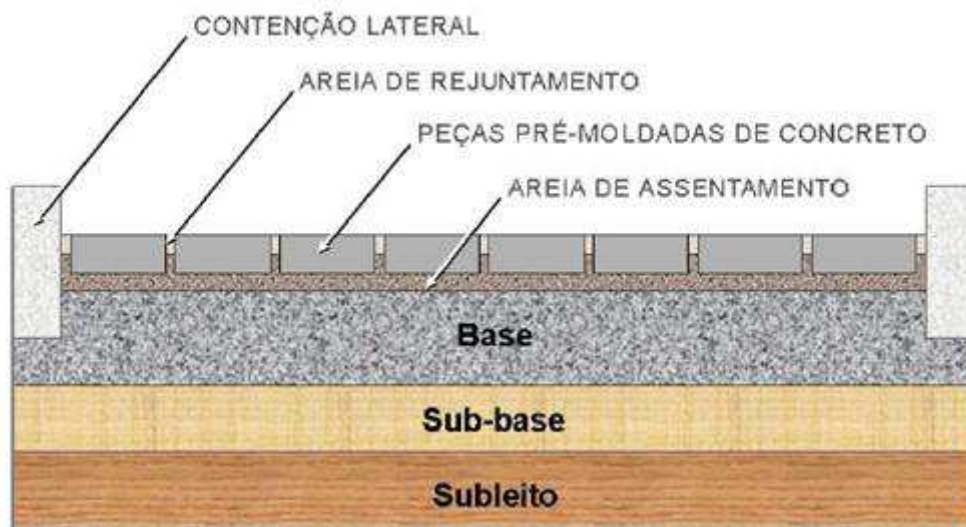


Figura 2.1 – Estrutura típica de um pavimento intertravado (HALLACK, 1998).

As espessuras das camadas constituintes do pavimento intertravado, assim como nos pavimentos de concreto asfáltico, dependerão das características do tráfego imposto no pavimento, características do terreno de fundação e a qualidade dos materiais constituintes das demais camadas (ABCP, 1999).

### 2.2.1. Peças Pré-Moldadas de Concreto

A fabricação das peças de concreto de cimento Portland (PPC) é realizada em grande produtividade, resultando em produto final com um elevado grau de precisão dimensional e estrutural, atingindo elevadas resistências e durabilidade (MACIEL, 2007).

Estas características são atingidas pelo fato das peças serem produzidas industrialmente em vibroprensas, proporcionando elevada compactação às peças, aumentando sua resistência mecânica e durabilidade, os blocos são curados em



câmaras que mantêm a umidade relativa constante acima dos 95%, garantido a hidratação do cimento e proporcionando uma menor absorção de água (ABCP, 2010).

Segundo MULLER (2005), a camada de revestimento contida por peças pré-moldadas de concreto, quando adequadamente concebidas, estabelecem a condição de conforto e segurança do rolamento, contribuindo decisivamente para a função estrutural do pavimento.

A contribuição estrutural está fortemente ligada às características de intertravamento presentes no pavimento, auxiliando na distribuição das tensões para as camadas inferiores e suportando as tensões cisalhantes causadas pelas rodas dos veículos (MACIEL, 2007).

Os principais aspectos relacionados a um travamento eficiente das peças são o formato, espessura e arranjo dos blocos de concreto.

#### **a) Formato**

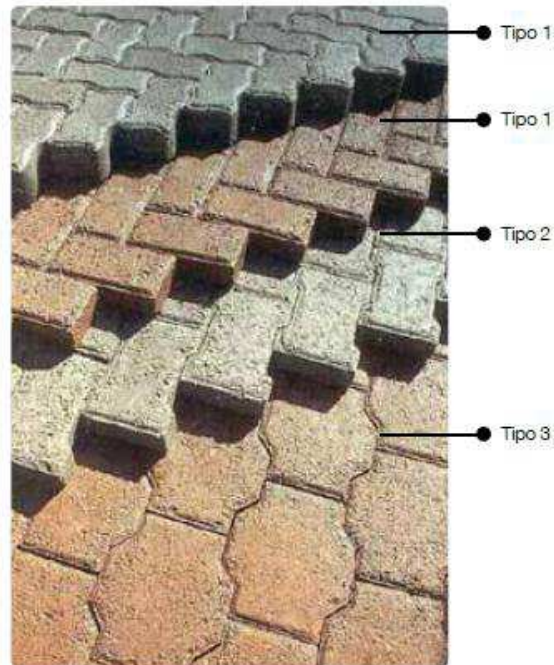
O Manual de Pavimento Intertravado (ABCP, 2010), divide as Peças pré-moldadas de concreto em três tipos básicos de formatos, sendo estes os mais encontrados e frequentemente utilizados no Brasil, são eles:

Tipo 1 – Constituídas por formas retangulares, apresentam facilidade de produção e colocação em obra, além de facilitar a construção de detalhes no pavimento. As suas dimensões são usualmente 20,0cm de comprimento por 10,0cm de largura e as suas faces laterais podem ser retas, curvilíneas ou poliédricas.

Tipo 2 – Genericamente, apresenta o formato “1” e somente pode ser montado em fileiras travadas. As suas dimensões são, usualmente, 20,0cm de comprimento por 10,0cm de largura.

Tipo 3 – É o bloco que, pelo seu peso e tamanho, não pode ser apanhado somente com uma mão (suas dimensões são de, pelo menos 20,0cm x 20,0cm).

É possível a visualização das diferenças entre os três tipos de formato das peças na Figura 2.2.



**Figura 2.2 – Comparação entre os formatos de PPC (ABCP, 2010).**

Os autores SHACKEL (1990) e MULLER (2005) apontam que as peças do tipo 1 segmentadas no formato em “S” (PAVI-S), proporcionam a melhor distribuição dos esforços oriundos do tráfego, apresentando menores deformações de trilha de roda e menores deformações horizontais.

As vantagens estruturais proporcionadas pela utilização das peças tipo PAVI-S ocorrem pelo fato que a redistribuição das cargas exercidas horizontalmente sobre uma unidade distribui-se em um número considerável de peças devido ao forte intertravamento presente nos seus encaixes (MACIEL, 2007).

### **b) Espessura**

A espessura das peças pré-moldadas é padronizada em 6,0cm, 8,0cm e 10,0cm, sendo esta definida em projeto conforme sua necessidade, usualmente realizada através da análise do tráfego imposto no local. ABCP (2010) menciona que a relação comprimento/espessura do bloco deve ser sempre menor ou igual a 4,0.

A norma brasileira para pavimento intertravado de peças pré-moldadas de concreto NBR 9781 (2013) normatiza que a variação entre as dimensões das espessuras fornecidas pelo fabricante e as reais não devem ultrapassar 5,0mm.

Através de experimentos com simulador de veículos pesados, SHACKEL (1990), verificou melhoras no desempenho em relação à deformações permanentes do pavimento ao realizar o aumento nas espessuras das peças dentro de um intervalo de 6,0cm a 10,0cm. A Figura 2.3 demonstra o resultado obtido por SHACKEL (1990). É possível verificar que o aumento da espessura das peças resulta em um melhor desempenho da estrutura, ressaltando que quanto maiores as espessuras, menores são as deformações.

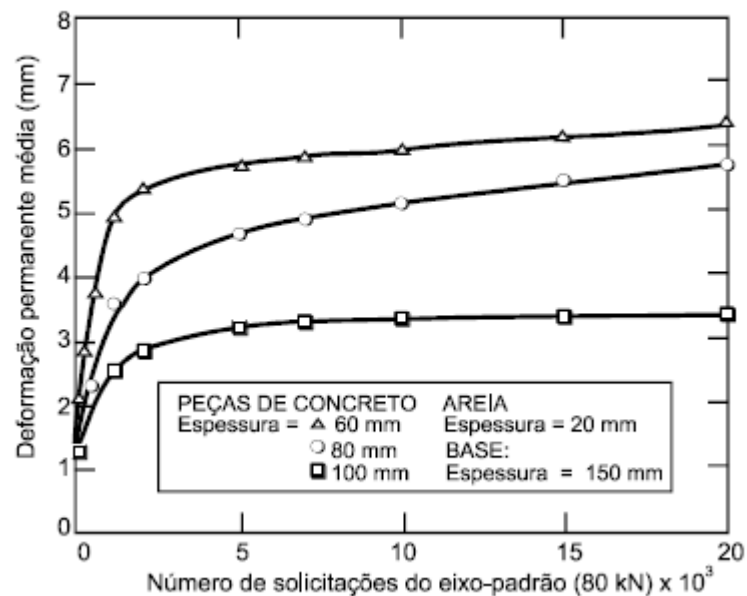


Figura 2.3 – Efeito da espessura das peças de concreto (SHACKEL, 1990).

### c) Arranjo

A distribuição das peças (arranjo) no momento da execução do revestimento influencia diretamente no intertravamento entre peças. Os tipos de arranjo podem ser divididos em trama, fileiras e espinha de peixe. A Figura 2.4 ilustra esses arranjos.

Em condições de tráfego pesado, todos os autores pesquisados relatam que o arranjo que possui melhores níveis de desempenho em relação a deformações permanentes é o arranjo espinha de peixe, com suas vantagens se estendendo no combate dos deslocamentos horizontais, podendo citar SHACKEL (1990), HALLACK

(1998) e ABCP (2010). O arranjo espinha de peixe pode ser no formato de 45° ou reto.

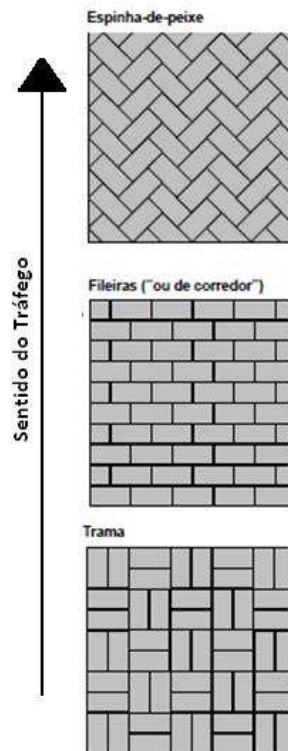


Figura 2.4 – Principais tipos de arranjos (HALLACK, 1998).

#### d) Resistência das Peças Pré-moldadas de Concreto

A norma técnica NBR 9781 (1987) - Peças de Concreto para Pavimentação, divide os blocos em duas classes, 35,0MPa e 50,0MPa, sendo a primeira, utilizada para tráfego leve, médio e pesado, enquanto os blocos de 50,0MPa são indicados em situações onde o revestimento sofre intensos carregamentos e desgastes por atrito, caso de pátios industriais e portos.

A NBR 9781 (1987) alerta que a utilização de peças que não atingem a resistência mínima ou estejam quebradas, comprometem a qualidade da obra, gerando perdas por abrasão, rachaduras e peças soltas.

### 2.2.2. Areia de Assentamento

A camada de assentamento é composta por material granular, com distribuição granulométrica definida, possuindo a função de acomodar as peças de concreto, proporcionando correto nivelamento do pavimento (ABCP, 2010).

MULLER (2005) ressalta que a espessura e qualidade da areia de assentamento influem diretamente no desempenho final do pavimento, sendo a espessura da camada de assentamento relacionada diretamente com a deformação permanente do pavimento, na Figura 2.5, SHACKEL (1990) demonstra através de experimentos a diferença nas deformações com diferentes camadas de espessuras.

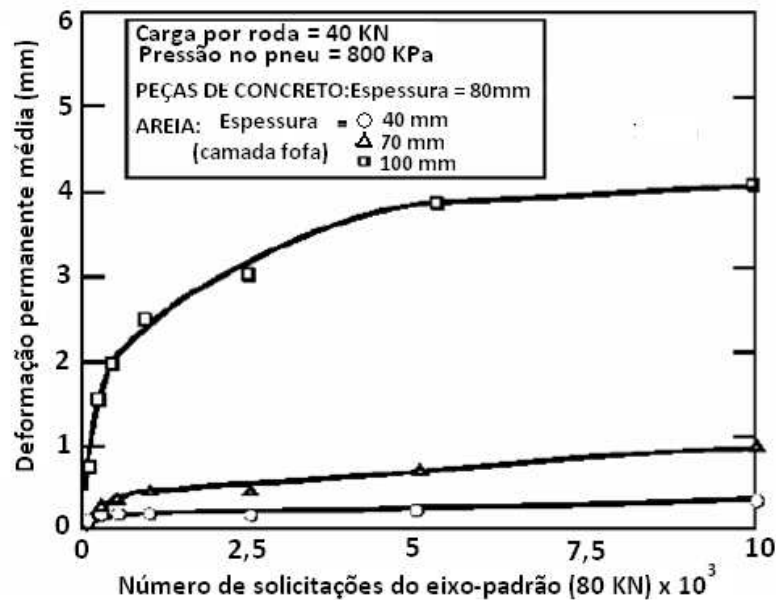


Figura 2.5 – Efeito da espessura da camada de assentamento no desempenho (SHACKEL, 1990).

Na Figura 2.5, SHACKEL (1990) demonstra o efeito que a espessura da camada de areia tem em relação às deformações, podendo analisar que para uma espessura de colchão de areia de 100,0mm na condição não compactada, existe um considerável aumento nas deformações permanentes em relação às espessuras de 70,0mm e 40,0mm.

O aumento da deformação em relação às espessuras do colchão de areia ocorre principalmente devido à densificação da areia, ação esta gerada pela vibração proveniente do tráfego.

É importante ressaltar que mesmo com a diminuição das deformações, uma espessura demasiadamente insuficiente pode provocar ruptura das peças pela carga solicitada (ABCP, 2010).

O Manual de Pavimento Intertravado (ABCP, 2010) especifica para uma distribuição de cargas eficiente, uma espessura uniforme no colchão de areia de 3,0cm a 4,0cm na condição compactada, sendo que a umidade da areia necessita estar entre 3,0% a 7,0% no momento da aplicação.

No Brasil é recomendado que a areia a ser utilizada enquadre-se na faixa granulométrica apresentada por CARVALHO (1998).

**Tabela 2.1 – Granulometria recomendada de areia a ser utilizada no colchão.  
(CARVALHO, 1998).**

<b>Abertura da Peneira (mm)</b>	<b>% Passante em massa</b>
9,5	100
4,8	95 a 100
1,2	50 a 85
0,6	25 a 60
0,3	10 a 30
0,15	5 a 15
0,075	0 a 10

CARVALHO (1998) recomenda ainda que a areia utilizada no colchão apresente no máximo 5,0% em massa de silte e argila, com um máximo de 10,0% de material retido na peneira 4,8mm.

A faixa granulométrica apresentada por CARVALHO (1998) permite um percentual passante de 0 a 10% na peneira 0,075mm, ao contrário das recomendações técnicas de granulometria utilizadas em outros países, CRUZ (2003) menciona que o passante na peneira 0,075mm equivalem a 0,0% na Austrália, U.S.A e Canadá e de 0,0% a 3,0% na Inglaterra e África do Sul.

MULLER (2005) recomenda a realização de ensaios de degradação ou durabilidade das areias em casos onde o pavimento recebe tráfego pesado.

### 2.2.3. Areia de Rejuntamento

A areia de rejuntamento ou areia de selagem proporciona a transferência de esforços entre as peças pré-moldadas de concreto, permitindo que as peças trabalhem como um todo, suportando as cargas solicitantes, (ABCP, 2010).

A areia é posicionada nas juntas das peças, necessitando estar seca no momento da aplicação, a forma de suas partículas necessitam ser finas e livres de materiais friáveis, torrões de argila e impurezas orgânicas, sendo a aplicação realizada após a colocação das peças e antes da compactação (ABCP, 2010).

As juntas necessitam estar com uma espessura de 2,0mm a 5,0mm, sendo que a areia de rejuntamento atuará na parte superior das juntas, uma vez que na parte inferior, a própria areia de assentamento servirá como preenchimento (MULLER, 2005).

### 2.2.4. Base e Sub-base

O Manual de Pavimentação do DNIT (2006) classifica os tipos de materiais que podem ser usados nas bases e sub-bases de pavimentos flexíveis (Figura 2.6).

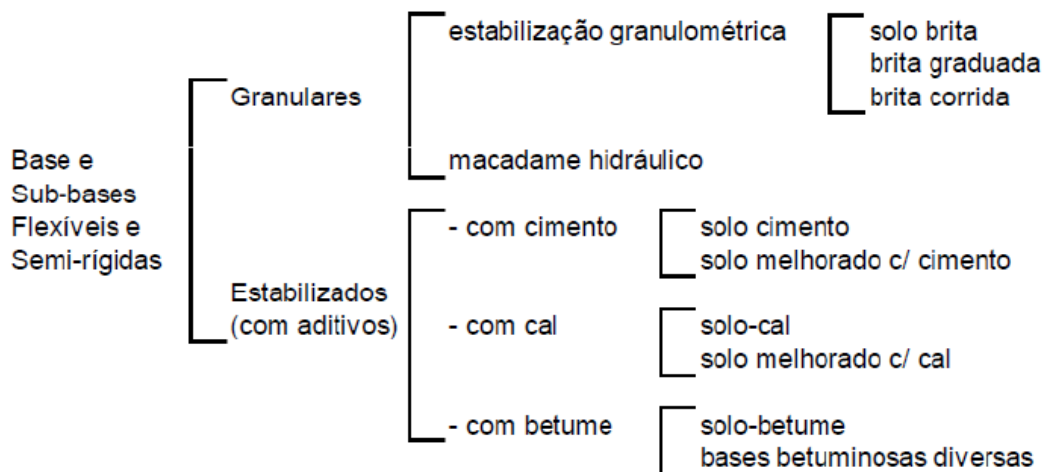


Figura 2.6 – Classificação das bases e sub-bases flexíveis e semi-rígidas (DNIT, 2006).

Segundo a normatização do DNIT 141 (2010) – Base estabilizada granulometricamente, a camada de base é destinada a resistir aos esforços oriundos

dos veículos, distribuindo-os adequadamente à camada subjacente, executada sobre a sub-base, subleito ou reforço do subleito devidamente regularizado e compactado.

A camada de base deve ser uma camada pouco permeável, ou impermeável, evitando a penetração da água e a prematura deterioração do subleito (MACIEL, 2007).

Segundo SENÇO (2007), a sub-base é a camada suplementar à base, quando, por circunstâncias técnicas e econômicas, não for recomendada a utilização da base assente diretamente sobre subleito ou reforço. GODINHO (2009) afirma que a sub-base tem a mesma função da base, sendo utilizada em casos onde a magnitude da carga solicitante é alta.

### **2.2.5. Subleito**

Subleito pode ser entendido como o solo natural da intervenção, podendo ser considerado a fundação do pavimento.

Apenas a camada próxima da superfície é considerada subleito, pelo fato que as pressões exercidas são consideradas desprezíveis à medida que se aprofunda no maciço (SENÇO, 2007).

As normatizações e métodos de dimensionamento definem a necessidade de obtenção de parâmetros de suporte e expansão do solo do subleito. No Brasil o método mais utilizado para encontrar tais parâmetros é o ensaio de Índice de Suporte Califórnia (CBR).

A NBR 12307 (1991) - Regularização do subleito, estabelece alguns requisitos mínimos que o solo necessita apresentar, sendo estes citados abaixo:

- $\text{CBR} \geq 2\%$ ;
- $\text{Expansão} \leq 2\%$ ;
- Livre de plantas e raízes;
- Lençol freático abaixo de 1,5m;
- Caimento mínimo de 2%.



### 2.3. DISTRIBUIÇÃO DE CARGA

A distribuição de carga advinda do veículo é distribuída para o pavimento através das rodas (Figura 2.7).

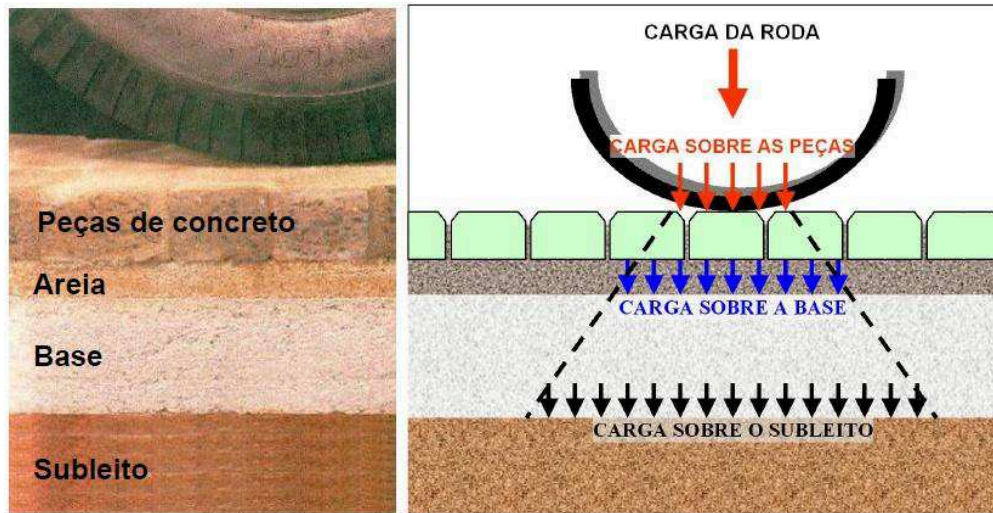


Figura 2.7 – Distribuição de Cargas (ABCP, 2010).

A angulação do bulbo de tensões na ordem de  $45^\circ$  é uma condição tomada como generalista na literatura técnica, no que diz respeito às propagações de esforços de carregamentos solicitantes em estruturas de pavimentos, entretanto, cabe esclarecer que cada tipo de solução possui características particulares e que devem ser estudadas em cada caso. No caso específico dos pavimentos intertravados, a pequena dimensão dos blocos de concreto ao formar um conjunto numeroso de pequenas juntas, devendo-se estudar, portanto de maneira mais específica as condições em que se propagam as tensões nas camadas subjacentes.

Em casos onde a carga solicitada é aplicada por eixos tandem duplo ou triplo, a verificação da superposição de efeitos é de grande importância, uma vez que a carga aplicada ao subleito aumenta consideravelmente, ocorrendo grandes deformações no caso de ruptura (SENÇO, 2007).

Para tanto, diante da incerteza quanto à dinâmica da propagação das tensões na estrutura de pavimento de peças pré-moldadas de concreto, devem ser procedidos estudos de modelagem computacional, com base na instrumentação da estrutura construída, com o intuito de monitorar as variáveis referentes a estes fenômenos de propagação.

A magnitude da carga advinda do tráfego é reduzida com a profundidade, sendo as camadas superiores submetidas a maiores tensões, é necessário que as pressões que agem na interface entre o pavimento e o subleito sejam compatíveis com a capacidade de suporte desse subleito (SENÇO, 2007).

No revestimento dos pavimentos Intertravados, cada peça transfere os esforços verticais, horizontais e de torção as peças vizinhas pelo contato entre faces, permitindo elevada transferência (ABCP, 2010).

Essa transferência de esforços de uma peça a outra demonstra a importância que o intertravamento possui. HALLACK (1998) define o intertravamento dos blocos de concreto como a capacidade de adquirir resistência aos movimentos de deslocamento individual. O intertravamento pode ser dividido em horizontal, vertical e rotacional.

### **2.3.1. Intertravamento Horizontal**

O intertravamento horizontal resulta em um não deslocamento horizontal das peças em relação às vizinhas. MULLER (2005) ressalta que o formato e arranjo das peças pré-moldadas de concreto estão fortemente relacionados a esse intertravamento.

A frenagem e aceleração dos veículos são fatores críticos, necessitando um bom travamento horizontal para evitar deslocamentos horizontais das peças de concreto.

MACIEL, (2007) menciona que as juntas são as principais responsáveis pelo intertravamento horizontal, quando executadas corretamente e conveniente preenchidas com adequado material. A Figura 2.8 ilustra as ações no intertravamento horizontal.

### **2.3.2. Intertravamento Vertical**

O Intertravamento vertical impede que as peças de concreto sofram um deslocamento vertical, dado que o deslocamento gera desníveis na superfície, causados pelo afundamento das peças, denegrindo a condição de rolamento do pavimento (GODINHO, 2009).

A capacidade do intertravamento vertical impedir que as peças se movem verticalmente em relação às vizinhas é alcançado devido os esforços cisalhantes

absorvidos pela areia de rejuntamento, juntamente o formato das peças e a capacidade estrutural das camadas inferiores (MACIEL, 2007)

Para garantir um intertravamento adequado, GODINHO (2009) recomenda a utilização de PPC especiais, com formatos e encaixes reentrantes uma a uma, garantindo um intertravamento peça com peça.

Caso o intertravamento não seja suficiente, acontecerá um deslocamento vertical das peças de concreto, sendo realizado a partir de uma carga vertical transmitida no centro do bloco. HALLACK, (1998) afirma que o deslocamento produz tensões excessivas nas camadas inferiores. A Figura 2.8 demonstra o intertravamento vertical.

### 2.3.3. Intertravamento Rotacional

Segundo KNAPTON (1996) *apud* GODINHO (2009), intertravamento rotacional é definido como a incapacidade da peça girar em relação ao seu próprio eixo, em qualquer direção

A correta espessura das juntas entre as peças e o confinamento oferecido pelas peças vizinhas são fatores cruciais no combate ao deslocamento rotacional (GODINHO, 2009).

O deslocamento rotacional é ocasionado a partir de uma carga de elevada magnitude aplicada na extremidade do bloco. Segundo MACIEL (2007) o fenômeno de giração é provocado geralmente pela frequência e tipo do tráfego, principalmente nas áreas de frenagem, aceleração e curvas, onde existe um aumento da tensão radial provocada pelo arrasto dos pneus.

A Figura 2.8 demonstra o intertravamento rotacional nos casos onde o bloco gira no seu eixo nas direções horizontal e vertical.

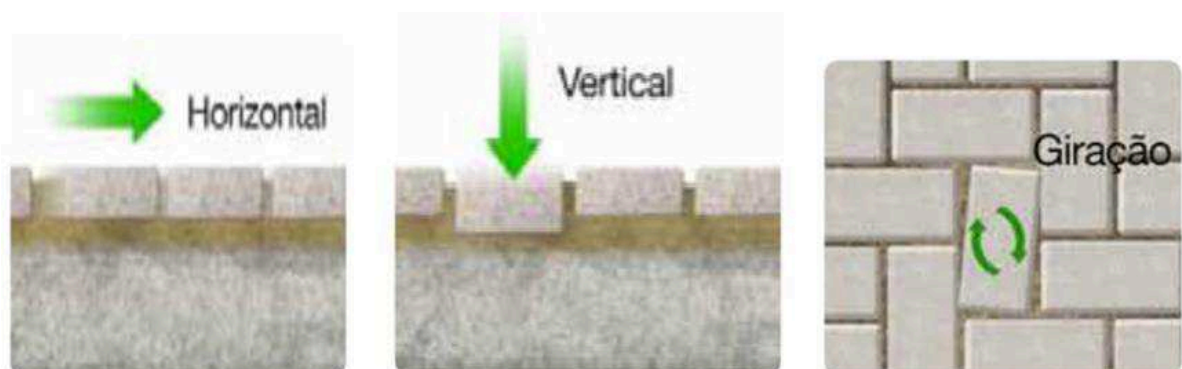


Figura 2.8 – Deslocamento das peças pré-moldadas de concreto (ABCP, 2010).

## **2.4. DIMENSIONAMENTO PAVIMENTO INTERTRAVADO**

Mesmo com a utilização crescente de pavimentos intertravados de peças de pré-moldados de concreto, os aspectos técnicos em relação ao dimensionamento não são tão difundidos como nos pavimentos de concreto asfálticos e rígidos.

Os parâmetros utilizados para obtenção das espessuras constituintes do pavimento são o número “N” de solicitações do eixo padrão e CBR do subleito. Todos os métodos pesquisados são voltados para um tráfego considerado leve e médio, porém a partir dos ábacos é possível o dimensionamento de pavimentos com tráfegos mais intensos.

Os métodos mais utilizados para pavimentos de peças de concreto intertravado no Brasil são o Método da ABCP ET-27 (1999), Método de PELTIER (1969) e Proposta de COOK (1996)

### **2.4.1. Método ABCP (1999) - Estudo Técnico n° 27 – Associação Brasileira de Cimento Portland**

O método de dimensionamento ABCP (1999) para pavimentos intertravados tem grande utilização em vias urbanas, seus parâmetros de dimensionamento são o tráfego imposto e capacidade de suporte do subleito, sendo o eixo padrão de projeto considerado com uma carga solicitante de 10 toneladas sob a configuração de eixo simples de rodagem dupla (ESRD).

A classificação do tráfego imposto no local é realizada por meio da classificação do número N de solicitações do eixo padrão. Caso não seja possível a caracterização real em campo, pode-se recorrer à Tabela 2.2, em que o parâmetro de tráfego é obtido pela classificação da via.

**Tabela 2.2 – Classificação das vias e parâmetros de tráfego  
apud PREFEITURA DE SÃO PAULO (1999) apud MACIEL (2007)**

FUNÇÃO PREDOMINANTE	TRÁFEGO PREVISTO	VIDA DE PROJETO ANOS	VOLUME INICIAL NA FAIXA MAIS CARREGADA		EQUIVALENTE POR VEÍCULO	N CARACTERÍSTICO
			VEÍCULO LEVE	CAMINHÃO E ÔNIBUS		
Via local residencial com passagem	Leve	10	100 a 400	4 a 20	1,50	$10^5$
Via coletora secundária	Médio	10	401 a 1500	21 a 100	1,50	$5 \times 10^5$
Via coletora principal	Meio Pesado	10	1501 a 5000	101 a 300	2,30	$2 \times 10^6$
Via arterial	Pesado	12	5001 a 10000	301 a 1000	5,80	$2 \times 10^7$
Via arterial principal ou expressa	Muito Pesado	12	> 10000	1001 a 2000	5,90	$5 \times 10^7$
Faixa Exclusiva de ônibus	Volume Médio	12		< 500		$10^7$
	Volume Elevado	12		> 500		$5 \times 10^7$

As espessuras necessárias das camadas do pavimento são determinadas a partir de leitura direta em ábacos, em que para obtenção da espessura da camada de sub-base procede-se como ilustrado na Figura 2.9.

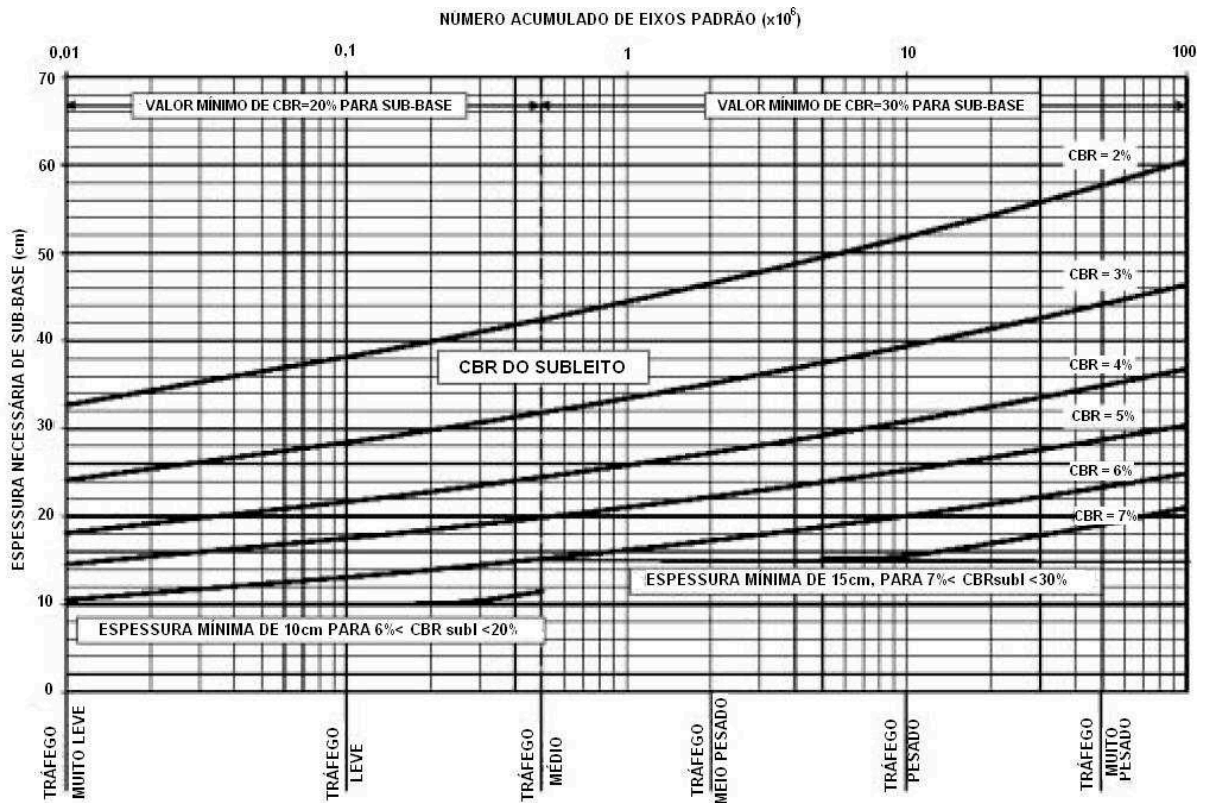


Figura 2.9 – Espessura Necessária para Sub-base (CARVALHO, 1998).

Interpretando a Figura 2.9, tem-se as seguintes condições básicas que devem ser obedecidas para efeito de projeto (Tabela 2.3).

Tabela 2.3 - Diretrizes para o dimensionamento da camada de sub-base.

Tipo de Tráfego	Condição de Suporte da Sub-Base	Solução de Projeto a adotar
Muito Leve a Médio ( $1,0 \times 10^4 < N < 1,99 \times 10^6$ )	$CBR_{\text{mín}} = 20\%$	$e_{\text{mín}} = 10,0\text{cm}$ para $CBR_{7\%} < CBR_{\text{subleito}}^* < 20\%$
Meio Pesado a Muito Pesado ( $N \geq 2,0 \times 10^6$ )	$CBR_{\text{mín}} = 30\%$	$e_{\text{mín}} = 15,0\text{cm}$ para $CBR_{7\%} < CBR_{\text{subleito}}^* < 30\%$

\*ou do reforço do subleito, quando for o caso.

No caso da camada de base, o método da ABCP (1999) prevê um ábaco apenas para utilização com soluções de projeto abrangendo camadas cimentadas (Figura 2.10), sobretudo Concreto Compactado com Rolo (CCR), com espessuras a partir de 10,0cm para um número de operações do eixo padrão  $N > 5,0 \times 10^5$ . Porém, para tráfego  $N \leq 5,0 \times 10^5$  a camada de base cimentada não é necessária, podendo ser granular, limitada a um mínimo de 15,0cm, ou mesmo admite-se que a estrutura de pavimento pode ser constituída apenas pelas camadas de sub-base (em alguns

casos denominada diretamente de base, sem a presença de sub-base), colchão de assentamento em areia e revestimento (Figura 2.11).

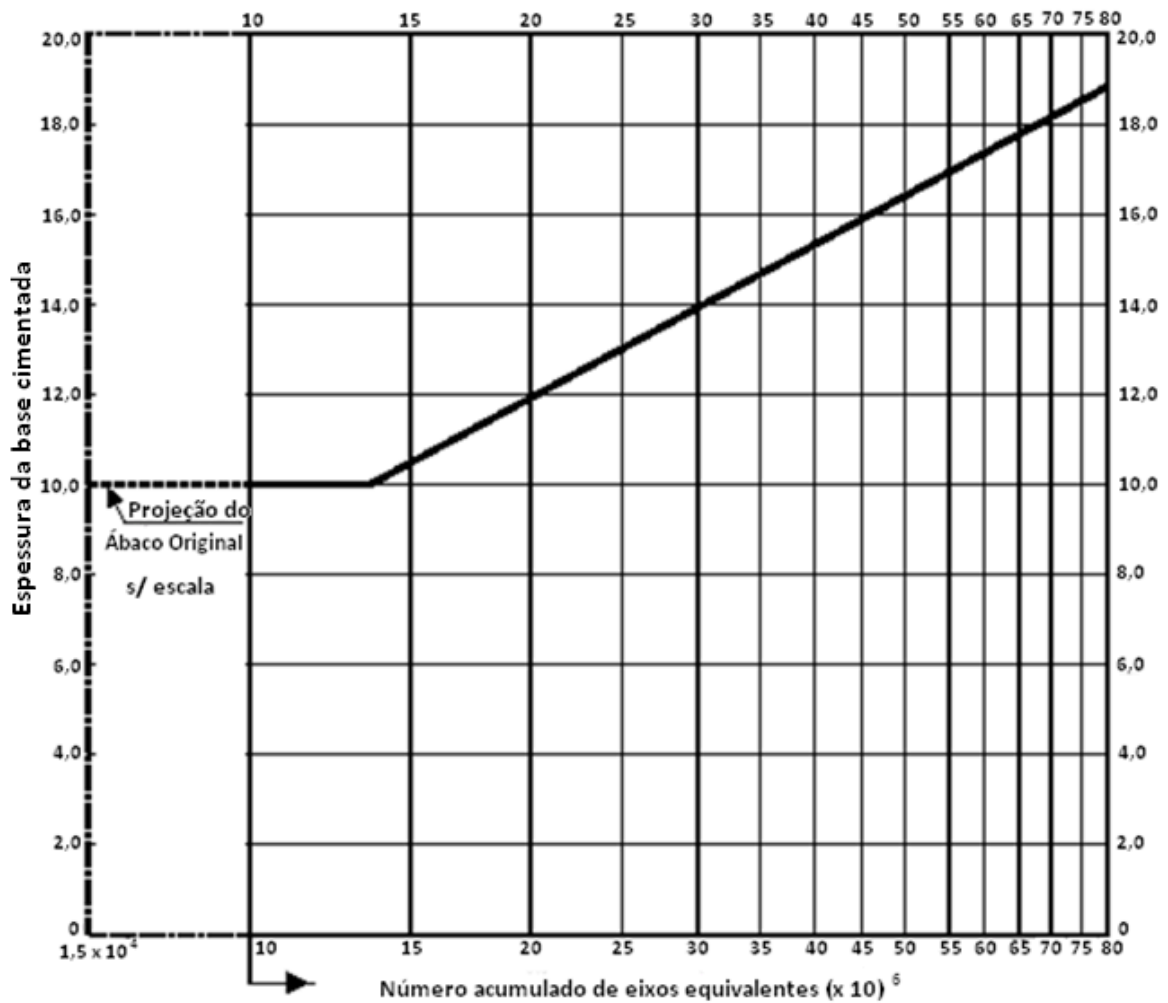


Figura 2.10– Espessura da base cimentada em função do número “N” (CARVALHO, 1998).



Figura 2.11 - Estrutura de pavimento intertravado tipicamente utilizada para soluções de pavimentação para tráfego muito leve e leve (ABCP, 2010).

Para soluções com camada de base constituída de material granular e tráfego a partir de  $N \geq 5,0 \times 10^5$ , dispor-se-á da mesma condição prevista em DNIT (2006), correspondente ao método de dimensionamento para pavimentos de concreto asfáltico, que consiste na utilização de materiais com CBR  $\geq 80\%$  e expansão  $\leq 0,5\%$ , para uma espessura mínima de 15,0cm após compactação.

Nas situações em que  $N < 5,0 \times 10^5$  pode-se também adotar outro critério previsto em DNIT (2006), que permite utilizar materiais granulares com CBR  $\geq 60\%$  e as faixas granulométricas E e F relacionadas aos solos, caso a disponibilidade de materiais na região de trabalho seja precária e não haja condição alguma orçamentária para se obter insumos em jazidas mais afastadas, ou mesmo para tratamento do solo local. Entretanto, devem ser tomadas todas as precauções quanto às condições de drenagem do subleito para impedir a ação da água e a expansão do material a ser utilizado ( $\leq 0,5\%$ ).

Em relação ao revestimento, no método proposto pela ABCP (1999), são definidas as espessuras necessárias e a resistência à compressão simples de acordo com o tráfego imposto (Tabela 2.4).

**Tabela 2.4 – Espessura e resistência das peças pré-moldadas de concreto (ABCP, 2010).**

TRÁFEGO	ESPESSURA REVESTIMENTO	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES
$N \leq 5,0 \times 10^5$	6,0cm	35Mpa
$5 \times 10^5 < 10^7$	8,0cm	35 a 50Mpa
$N > 10^7$	10,0cm	50Mpa

#### **2.4.2. Estudos de Raymond PELTIER**

Raymond Peltier realizou estudos no *Laboratoire Central des Ponts et Chaussées* (LCPC), na França, onde procurou associar a família de curvas de dimensionamento do *United States Army Corps of Engineers* (USACE) a uma equação (SENÇO, 2007).

A equação proposta (Equação 2.1) é utilizada para o cálculo de espessuras de um pavimento com blocos de concreto, em que o método é aplicado em função da espessura total do pavimento, carga da roda, número de repetições e da resistência do solo de fundação.



$$e = \frac{\left(100+150\sqrt{P/2}\right)}{(Is+5)} \quad (2.1)$$

onde:

- e - Espessura total do pavimento, cm;
- P - Carga de roda em toneladas;
- Is - CBR do subleito, em percentagem.

A Equação de PELTIER (1969) apenas determina a espessura total do pavimento, e pelo fato de ter sido desenvolvida para condições de tráfego leve, o tráfego real imposto no pavimento é desconsiderado na Equação, apenas mencionando a carga de roda do eixo-padrão considerado em toneladas.

O método não utiliza camada de base, apenas sub-base e camada de areia de assentamento, sendo esta última especificada em 4,0cm.

### **2.4.3. Proposta de COOK**

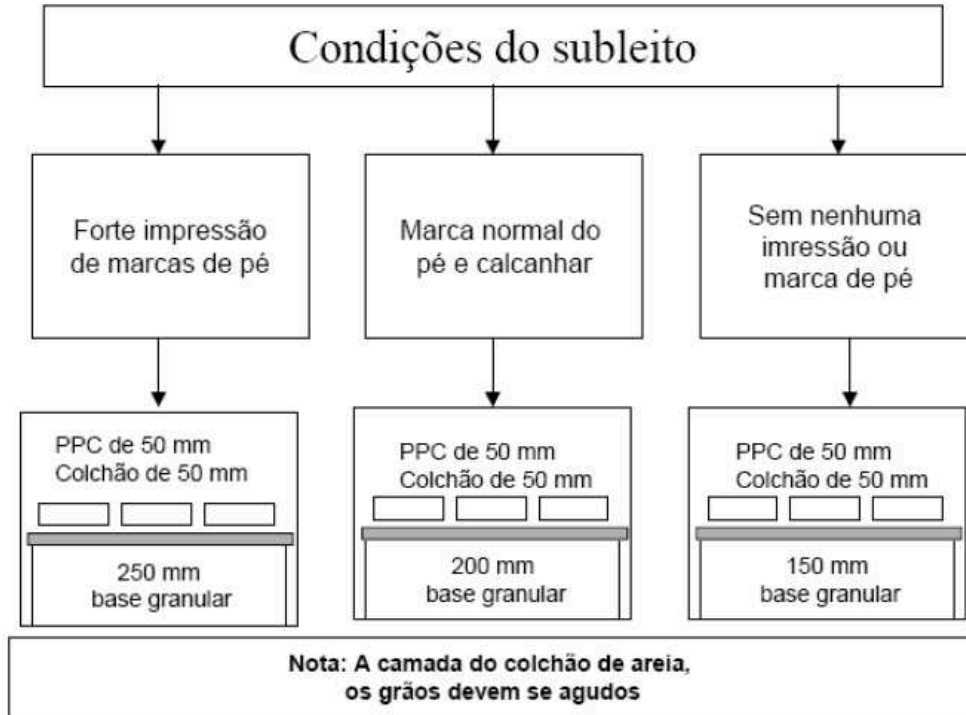
COOK (1996) propôs um método empírico de dimensionamento de pavimentos intertravados com peças pré-moldadas de concreto, através de experiências práticas de campo vivenciadas pelo próprio autor.

O método é dividido em duas classes:

- Tráfego de pedestres e veículos leves;
- Tráfego de veículos leves e poucos veículos pesados.

Segundo COOK (1996), para o dimensionamento de uma via com tráfego de pedestres e veículos leves em casos onde não existe a disponibilidade de ensaios de caracterização para o solo de subleito, é possível realizar o dimensionamento através de um teste prático, no qual consiste no caminhar pelo solo de subleito presente no local da intervenção, sendo a espessura da camada de base granular definida pela marca do pé no solo.

O fluxograma exibido na Figura 2.12 demonstra o processo de dimensionamento pelo teste prático.



**Figura 2.12 - Fluxograma para dimensionamento empírico em tráfego leve – pedestres e veículos leves (COOK, 1996).**

Para o tráfego de veículos leves e com pequena circulação de veículos pesados, o dimensionamento das espessuras de reforço de subleito, sub-base e base são realizados em função do CBR do subleito e do número de solicitações do eixo padrão (N) determinado. O dimensionamento é realizado através do fluxograma ilustrado na Figura 2.13.

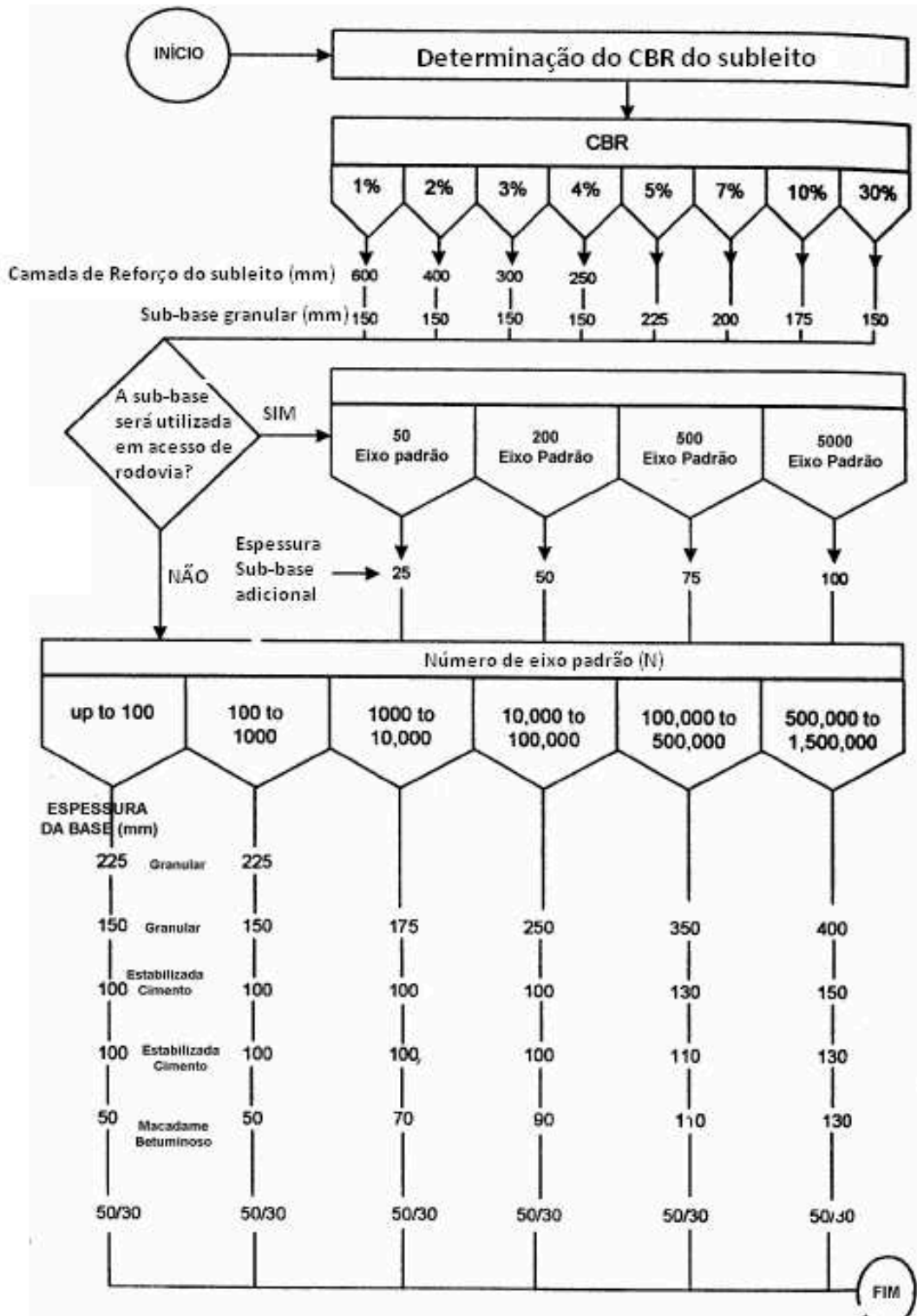


Figura 2.13 – Fluxograma para dimensionamento empírico para tráfego leve – veículos leves e poucos veículos pesados. (COOK, 1996).

## **CAPÍTULO 3**

### **MATERIAIS ESTUDADOS**

A solução do projeto de pavimentação proposto neste trabalho de conclusão de curso consiste em um estudo de caso aplicado em um pátio de estacionamento de ônibus, localizado em uma empresa de ônibus que fornece os serviços de transporte coletivo urbano, juntamente com fretamento de ônibus, na cidade de Joinville, Santa Catarina.

Segundo SENÇO (2007), a construção de um pavimento exige o conhecimento dos materiais constituintes das camadas desse pavimento e dos materiais presentes no subleito.

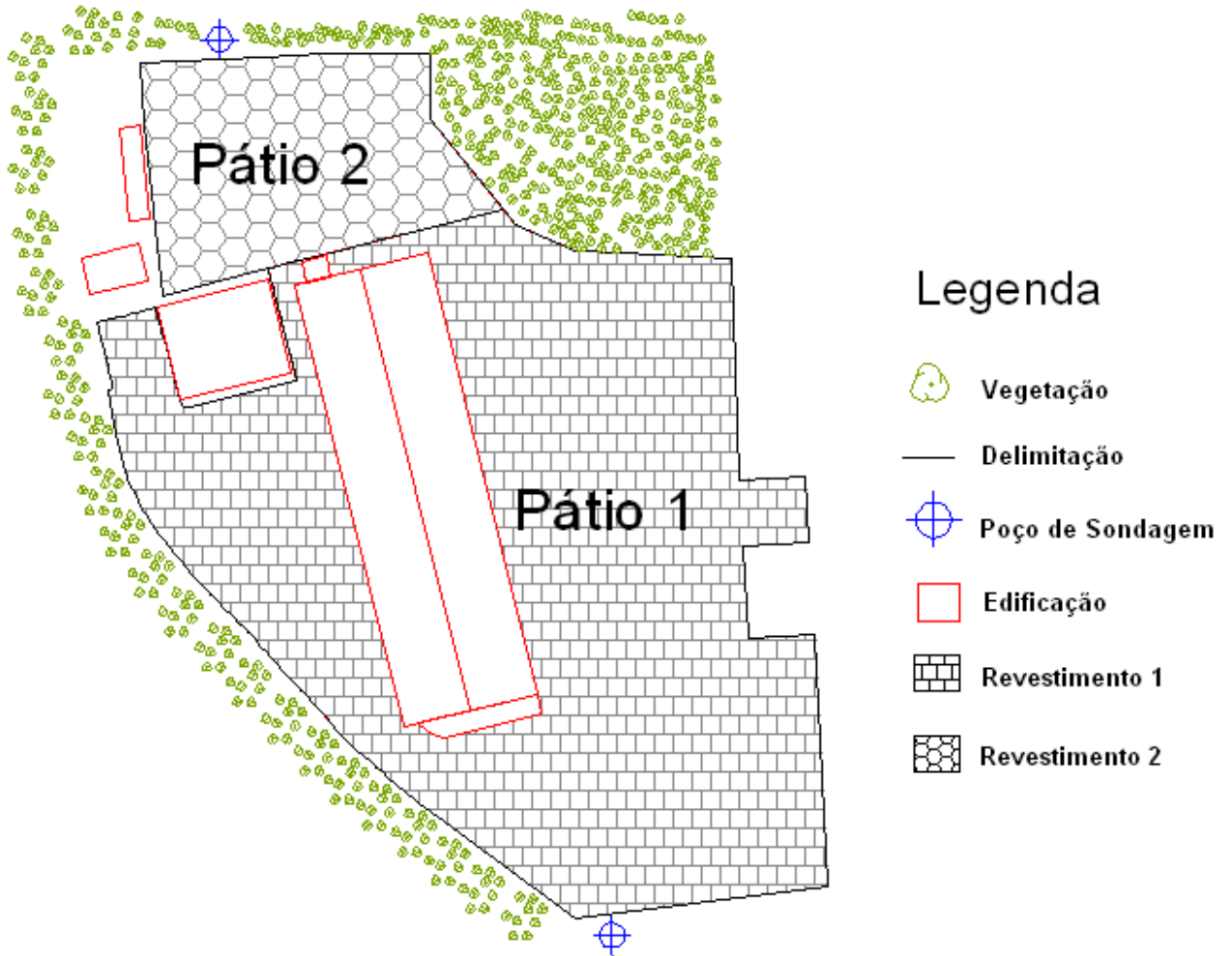
Neste contexto foram realizados estudos com o objetivo de obter informações sobre as características geotécnicas e mecânicas dos materiais. Para tal foram realizados ensaios no solo natural presente no pátio de ônibus e de materiais proveniente de jazidas para utilização nas camadas do pavimento.

#### **3.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS**

O pátio de estacionamento estudado possui uma área total aproximada de 15.000m<sup>2</sup>, atualmente encontra-se pavimentado com revestimento por calçamento de paralelepípedo e peças pré-moldados de concreto.

Para um correto desenvolvimento inicial do projeto a área total do pátio foi dividida em duas partes, nomeando-as em pátio 1 e pátio 2.

É possível visualizar na Figura 3.1 a planta do pátio de estacionamento de ônibus. Nela são encontradas as delimitações dos pátios e os locais onde foram realizadas as prospecções para a posterior caracterização e efetuação de ensaios geotécnicos nos solos naturais.



**Figura 3.1 – Planta da área do pátio de estacionamento de ônibus estudado.**

A divisão em duas áreas distintas ocorreu principalmente pelo fato de que depois de realizadas algumas entrevistas com funcionários da empresa e posterior sondagem confirmatória *in situ*, foi visto que os solos de fundação diferem muito entre os pátios, necessitando estudo particular de cada solo de subleito.

A idade de concepção e o revestimento atual também foi limitante importante para a divisão dos pátios. O pátio 1 foi concebido a cerca de vinte e cinco anos e possui maiores dimensões em relação ao pátio 2, o seu revestimento atual é o de blocos de paralelepípedo, diferentemente do pátio 2 que conta com um revestimento de peças sextavadas de concreto pré-moldado com sete anos de utilização.

A Tabela 3.1 apresenta as áreas dos pátios 1 e 2.

**Tabela 3.1 – Quantitativos das áreas dos pátios.**

	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>
Pátio 1	12.087,5 m <sup>2</sup>
Pátio 2	2.763,8 m <sup>2</sup>
<b>TOTAL</b>	<b>14.851,3 m<sup>2</sup></b>

### **3.2. MATERIAIS E MÉTODOS**

O estudo do pátio de estacionamento onde será aplicado o dimensionamento do pavimento é essencial no projeto de pavimentação, estabelecendo a partir deste, diretrizes essenciais para o dimensionamento do pavimento.

Em um primeiro momento a realização de uma análise técnica do atual pavimento se fez necessária, detectando defeitos presentes na estrutura e suas possíveis causas, facilitando posteriormente uma caracterização prévia do subleito.

No pátio 1, afundamentos causados por deformações permanentes na estrutura do pavimento são visíveis em diversos pontos (Figura 3.2), possivelmente devido à falta de capacidade de suporte das camadas subjacentes, aliado a uma solução de dimensionamento ineficaz.



**Figura 3.2 – Revestimento pátio 1.**

No revestimento do pátio 1, também é possível identificar deslocamento dos blocos em vários pontos, principalmente no sentido horizontal (Figura 3.2), devido a um

intertravamento deficiente fornecido pelos blocos de paralelepípedos existentes, isto se explica em razão do seu formato e arranjo dos blocos (fileiras), juntamente com a degradação do material cimentante de rejuntamento (argamassa de cimento). O deslocamento rotacional também é visível, causado principalmente pelo movimento de frenagem, aceleração e de tensão radial durante a manobra dos veículos.

Mesmo sendo mais novo, com cerca de sete anos de utilização, o pátio 2 (Figura 3.3) encontra-se mais degradado com relação ao pátio 1. Os afundamentos da estrutura também são encontrados, e estes, por tratar-se de um pavimento recente, existem possivelmente devido ao solo de subleito ter baixa capacidade de suporte, esta problemática aliada a um dimensionamento errôneo ou ausência de dimensionamento das camadas de sub-base e base acarretam na diminuição da vida útil do pavimento.

O revestimento onde esta localizado o pátio 2, encontra-se com vários defeitos, principalmente nas áreas de acesso e de manobras. O fato do revestimento possuir peças grandes, com formato sextavado (Figura 3.3), impede um eficiente intertravamento das peças, ocorrendo deslocamentos, principalmente rotacionais e laterais, fomentando o descolamento das peças do pavimento e a ascensão da areia de assentamento.



**Figura 3.3 – Revestimento pátio 2.**

Afirma-se que ambos os pátios de estacionamento presentes na empresa não estão em boas condições, impedindo uma boa trafegabilidade dos veículos e necessitando de manutenções constantes, tendo sido constatados em campo os defeitos previamente estudados e ilustrados na Figura 2.8.

Com o objetivo da realização de um estudo aprofundado acerca dos materiais presentes na estrutura e, principalmente, do solo natural presente, realizou-se uma prospecção no pavimento, uma vez que não existem informações de projeto.

Pelo fato de ambos os pátios estarem em total funcionamento, dificuldades foram encontradas para a locação e respectiva quantidade de poços de sondagem, porém estabeleceu-se a realização de duas escavações, conforme ilustrado na Figura 3.1.

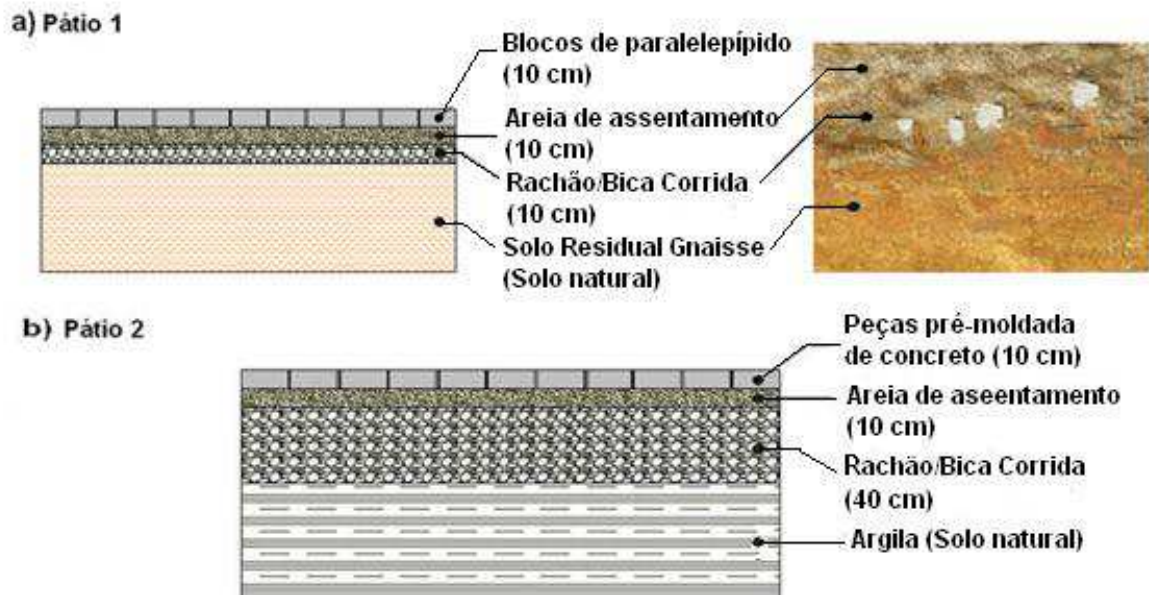
No pátio 1 a escavação foi realizada rente ao pavimento construído, com o objetivo de visualizar as camadas e materiais presentes da estrutura atual, porém o perfil encontrado demonstrou a falta de dimensionamento, contando apenas com uma camada de areia de assentamento, seguido de uma delgada camada de rachão sobre um solo, que assumiu-se sendo o subleito

Para o pátio 2, não foi possível a escavação imediatamente ao lado da estrutura do pavimento, em razão de existirem tubulações próximas. Porém, a partir de entrevistas com operários que estavam presentes à época da execução do pavimento, a estrutura consiste em areia de assentamento seguida de uma base de rachão com bica corrida, assentes sobre um solo argiloso.

Ambos os pátios possuem espessuras de camada de assentamento com cerca de 10,0cm compactado, sendo este um dos fatores pela causa de afundamentos. De acordo com SHACKEL (1990), a deformação média causada pela areia para um tráfego considerado pesado com essa espessura são maiores que 4,0mm (Figura 2.5).

Na Figura 3.4 é possível visualizar em corte as estruturas dos atuais pavimentos presentes no pátio de ônibus.





**Figura 3.4 - Materiais presente nas estruturas atuais.**

A falta de um adequado dimensionamento nos pátios no que diz respeito ao pavimento é evidente, e os defeitos presentes no local demonstram as suas consequências.

É possível deduzir as causas dos afundamentos presente nos pátios através da análise da estrutura de pavimentação. No pátio 1, pelo fato de existir apenas uma camada delgada de material britado na base, as cargas advindas da frota de ônibus não conseguem se dissipar corretamente, causando deformações no subleito.

No pátio 2, mesmo estando presente uma camada de 40,0cm de rachão com bica corrida, a escolha desse material não é a mais adequada, uma vez que, pelo fato de consistir de pedras britadas sem seleção de dimensões, o travamento das pedras não é eficiente, causando uma acomodação das partículas após o tráfego ser aberto e com isso um recalque.

Outro fator importante em relação ao pátio 2 é o solo natural, que de acordo com inspeção tátil visual, consiste em um solo argiloso. Nesse sentido é necessário um estudo sobre a sua capacidade de suporte, expansão e existência de um nível de água próximo presente no local.

Com as prospecções realizadas *in situ* e as análises laboratoriais posteriores, determinou-se as principais características dos solos naturais existentes na área de estudo.

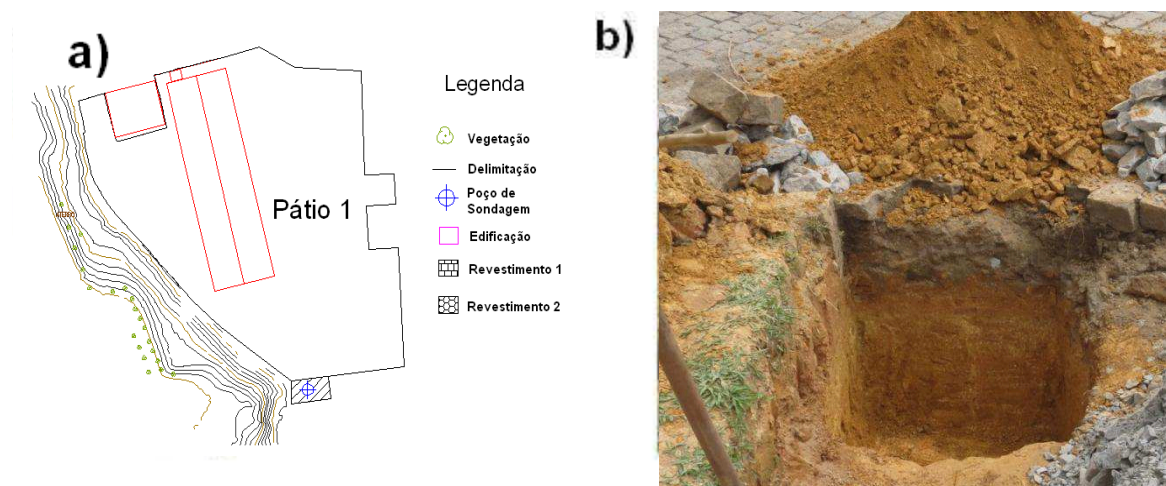
### 3.2.1. Subleito - Solo 1

O solo natural presente no pátio 1, nomeado solo 1, será considerado o subleito no projeto de pavimentação. Os procedimentos realizados para o estudo foram o de escavação, coleta, caracterização e ensaios geotécnicos.

#### 3.2.1.1. Procedimento de Coleta e Armazenamento

Para a realização da caracterização do solo de fundação presente no pátio 1 realizou-se uma escavação de forma manual, através de pá e trado.

O poço de sondagem escavado possui dimensões de 1,0m de largura por 1,0m de comprimento, com profundidade de 1,10m (Figura 3.5).



**Figura 3.5 – Visão geral da (a) planta de localização e do (b) poço de sondagem.**

Analisando o local, pelo fato de existir uma elevação no lado oeste do pátio (sendo possível visualizar as curvas de nível na Figura 3.5), juntamente com informações de movimentações de terra relatadas pelos funcionários da empresa, é possível considerar que o solo de subleito encontrado na escavação é o mesmo em todo o pátio 1, contendo corte nas áreas mais próximas da elevação e aterros, com o mesmo material, nas regiões mais distantes.

Para a realização de ensaios laboratoriais, foram coletados e armazenados aproximadamente 40,0kg de amostra do solo.

### 3.2.1.2. Caracterização do Solo

Em uma pré-análise tátil visual *in situ*, o solo foi caracterizado como um solo residual maduro de gnaiss, dadas as feições preservadas pelo material, que remetem àquela rocha mãe. Este solo é muito presente na região nordeste do estado de Santa Catarina.

Solos residuais são solos formados pelo intemperismo da rocha, podendo ser dividido em solo residual jovem, quando o solo mantém estrutura original da rocha mãe, geralmente horizonte C pedológico, e residual maduro, no qual os aspectos herdados da rocha são menos visíveis, sendo relacionado ao horizonte B pedológico (DNER, 1992).

O solo presente no pátio 1 pode ser considerado um solo maduro, que corresponde ao horizonte B do perfil de alteração de rochas gnáissicas, embora certos aspectos estruturais (bandeamentos) e mineralogia herdados da rocha ainda estejam preservados.

Ainda no local foi realizada uma análise tátil-visual do solo, permitindo constatar que o solo em questão trata-se de um site argiloso. Porém não é possível a confirmação da caracterização neste trabalho, uma vez que não foi realizado ensaio de granulometria que permita a separação das frações de silte e argila no solo em questão. O solo de subleito presente no pátio 1, pode ser visto na Figura 3.6.



Figura 3.6 - Solo 1

### 3.2.1.3. Ensaio de Compactação (Proctor)

Compactação é a operação da qual resulta o aumento da massa específica aparente de um solo, pela ação de pressão, impacto ou vibração. O aumento da massa específica ocorre pela redução dos vazios do material, uma vez que a ação mecânica faz com que as partículas tenham maior contato entre si (DNIT, 2006).

Além do aumento da massa específica e redução de vazios, PREUSSLER (2007), menciona a redução da permeabilidade e compressibilidade, juntamente com um aumento da resistência ao cisalhamento.

Segundo SENÇO (2007), Ralph R. Proctor na década de 30 observou que a densidade atingida na operação de compactação dependia da umidade do solo, informação esta, relevante para a construção de uma técnica que alcançasse um máximo de compactação para determinada energia.

A técnica criada por Proctor vem sendo utilizada em grande escala na pavimentação até os dias atuais no Brasil, a partir desta determina-se a umidade ótima e a massa específica seca máxima de determinado material.

O ensaio em questão foi utilizado para determinação da curva de compactação do solo 1, seguindo todas as normatizações da DNER-ME 162 (1994), no qual prescreve o método para determinação da relação entre umidade e massa específica aparente seca de solos compactados.

A realização do ensaio Proctor depende da energia de compactação, podendo esta ser dividida em normal, intermediária e modificada, onde a diferença entre os níveis acontece na mudança do soquete, nas camadas e nos golpes a ser compactado o material no cilindro. A Tabela 3.2 demonstra as diferenças entre as energias de compactação.

Segundo PREUSSLER (2007), o aumento na energia de compactação acarreta em um aumento da massa específica seca e uma redução na umidade ótima.

Tabela 3.2 – Energias de compactação Proctor (DNER, 1994).

Cilindro	Características inerentes a cada energia de compactação	Energia		
		Normal	Intermediária	Modificada
Pequeno	Soquete	Pequeno	Grande	Grande
	Número de camadas	3	3	5
	Número de golpes por camada	26	21	27
Grande	Soquete	Grande	Grande	Grande
	Número de camadas	5	5	5
	Número de golpes por camada	12	26	55
	Altura do disco espaçador (mm)	63,5	63,5	63,5

A escolha da energia é realizada pelas considerações do tráfego durante a vida útil do pavimento e do número de passadas juntamente com o porte do maquinário na compactação em campo.

A energia de compactação utilizada para o solo residual presente no pátio 1 foi a intermediária, em razão do tráfego considerado intenso imposto no pátio exercido pela frota de ônibus.

A Figura 3.7 demonstra as etapas do ensaio de compactação Proctor realizado.



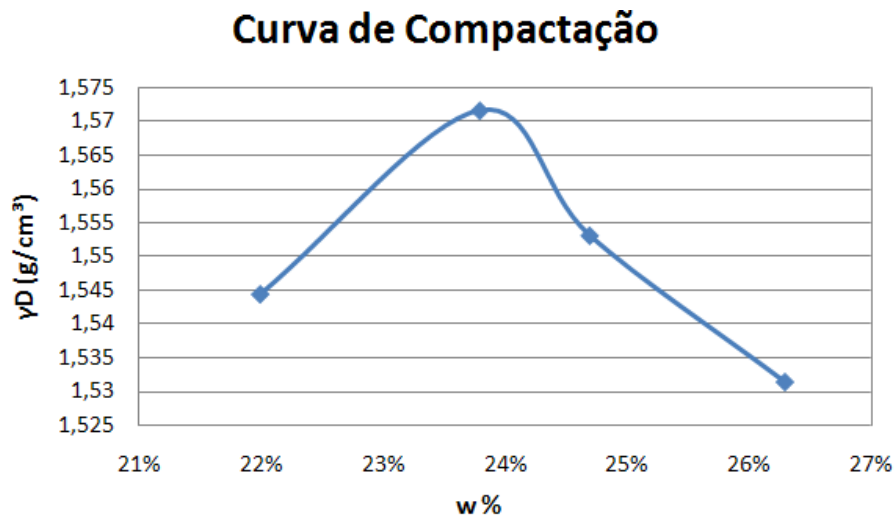
Figura 3.7 - a) acréscimo de água; b) colocação solo no cilindro; c) compactação; d) rasamento; e) cilindro rasado.

O resultado final, contendo os pesos, umidade e densidade de cada ponto ensaiado podem ser encontrados na Tabela 3.3.

**Tabela 3.3 – Ensaio compactação – Solo 1.**

ENSAIO	1	2	3	4	5
W corpo de prova (g)	3911,4	4038,9	4020,4	4015,2	4013,7
w %	22%	23,80%	24,70%	26,30%	30,98%
$\gamma_D$ (g/cm <sup>3</sup> )	1,53	1,57	1,55	1,53	1,48

A curva de compactação Proctor do solo 1 pode encontra-se na Figura 3.8, devido o ponto 5 possuir uma densidade muito baixa em relação aos demais, descartou-se o da curva, não afetando assim a visualização da curva de compactação.



**Figura 3.8 – Curva de compactação – Solo 1.**

A partir do resultado obtido no ensaio de compactação Proctor (Tabela 3.4), diretrizes para a compactação em campo foram obtidas, uma vez que para garantir a máxima massa específica seca, o solo 1 deve estar com uma umidade de 23,8%. SENÇO (2007) afirma que no momento em que a maior massa específica aparente ocorre, se obtém a menor porcentagem de vazios, com o melhor entrosamento entre as partículas.

**Tabela 3.4 – Resultado do ensaio de compactação.**

Umidade Ótima	23,80%
$\gamma_D$ Máxima	1,57 g/cm <sup>3</sup>

Com a umidade ótima do solo conhecida, é possível dar sequência ao Ensaio de CBR e Expansão.

#### **3.2.1.4. Índice de Suporte Califórnia (CBR) e Expansão**

Em projetos rodoviários no Brasil, o ensaio que estabelece a estimativa de resistência de um material é o CBR, sendo este utilizado como normativo para aceitação dos materiais nas camadas constituintes do pavimento em projetos de pavimentação.

O ensaio foi idealizado por O.J.Porter, que no final dos anos 30 no California Highway Department, definiu as resistências dos materiais granulares empregados nos serviços de pavimentação, determinando a relação entre a pressão necessária para produzir uma penetração de um pistão num corpo de prova de solo saturado, e a pressão necessária para produzir a mesma penetração em uma brita padronizada (DNIT 2006).

Os ensaios realizados de CBR neste trabalho seguem todas as normatizações da DNER-ME 049 (1994), que prescreve o método para determinação do índice de suporte e expansão de um solo.

Para o procedimento inicial do ensaio realiza-se novamente o ensaio de compactação Proctor na energia intermediária no ponto sob as condições da umidade ótima de 23,8%, imergindo em água por 96 horas ao final do procedimento com o desígnio de o solo entrar em estado de saturação.

São instalados pesos anelares representando o peso atuante do pavimento e haste com extensômetro para a aferição do deslocamento do solo durante os quatro dias imersos.

Ao conferir a aferição do extensômetro, relatou-se um deslocamento de 3,551 mm durante os quatro dias imersos, resultando em uma expansão de 3,11%. O resultado da expansão pode ser visto na Tabela 3.5.

**Tabela 3.5 – Expansão obtida – Solo 1.**

<b>EXPANSÃO</b>	
Leitura Inicial	0
Leitura Final	3551
Altura do CP (mm)	114
Expansão (mm)	3,551
<b>Expansão</b>	<b>3,11%</b>

Após a expansão ser determinada, o corpo de prova com as mesmas sobrecargas utilizado na imersão é transportado até uma prensa mecânica (Figura 3.9), sendo realizado o ensaio de CBR, consistindo na penetração de um pistão cilíndrico em velocidade constante.

**Figura 3.9 – Corpo de prova sendo ensaiado.**

Para a obtenção do CBR, durante o ensaio foram realizadas leituras no extensômetro do anel, em tempos e penetrações distintos.

O corpo de prova após realização do ensaio de penetração pode ser visto na Figura 3.10.





Figura 3.10 – Corpo de prova após penetração do pistão.

Após realização de todas as leituras no extensômetro, foi possível a obtenção da curva característica de CBR, podendo esta ser vista na Figura 3.11. O fato da penetração ter sido realizada manualmente, resultou em uma curva com leve flexão inicial, necessitando realizar uma correção da curva para obtenção do valor correto de CBR (reta em vermelho na Figura 3.11).

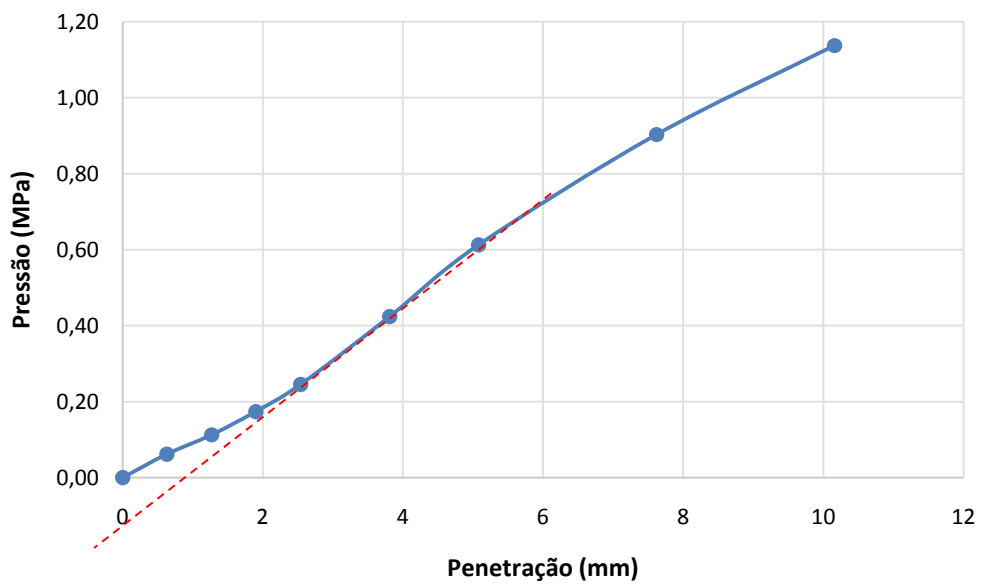


Figura 3.11 – Curva CBR – Solo 1.

O cálculo do CBR é realizado pela Equação 3.4.

$$CBR = \frac{\text{Pressão calculada ou pressão corrigida}}{\text{Pressão padrão}} \quad (\text{Eq. 3.1})$$

As leituras obtidas e o resultado final do CBR encontram-se na Tabela 3.6.

**Tabela 3.6 – Resultado Índice de Suporte Califórnia**

CBR - Solo 1								
Tempo (min)	Penetração	Leitura	Leitura (mm)	Força (N)	Área do Pistão (m <sup>2</sup> )	Pressão (MPa)	CBR 01	CBR 02
0	0	0	0	0,00	1,96E-03	0,00	3,6	5,9
0,5	0,63	5	0,005	121,29	1,96E-03	0,06	P1 Corrigido	P2 Corrigido
1	1,27	10	0,01	221,46	1,96E-03	0,11	0,4	0,7
1,5	1,9	16	0,016	341,65	1,96E-03	0,17		
2	2,54	23	0,023	481,85	1,96E-03	0,25	CBR 01 Cor	CBR 02 Cor
3	3,81	40,5	0,0405	832,27	1,96E-03	0,42	5,1	7,0
4	5,08	59	0,059	1202,57	1,96E-03	0,61		
6	7,62	87,5	0,0875	1772,78	1,96E-03	0,90	CBR	7,0
8	10,16	110,5	0,1105	2232,70	1,96E-03	1,14		

De acordo com regulamentação da NBR 12307 (1991) - Regularização do subleito, os requisitos mínimos que um solo de subleito necessita apresentar são:

- CBR  $\geq$  2,0%;
- Expansão  $\leq$  2,0%.

Mesmo com um CBR de 7,0% decidiu-se acrescentar no projeto a ser executado uma camada de reforço de subleito no local. A decisão ocorreu devido à solicitação presente no pátio ser intensa e os esforços dos ônibus serem diferenciados.

Devido o fato de a expansão ser superior ao especificado em norma (NBR 12307,1991), foi necessário buscar uma solução para o tratamento do solo, a fim de atenuar ou extinguir o problema, optando no uso da areia descartada de fundição (ADF).

### 3.2.1.5. Penetrômetro Dinâmico Leve

O Penetrômetro Dinâmico Leve (Dynamic Probing Light – DPL) é um equipamento utilizado na caracterização de materiais a partir da resistência a penetração em função da profundidade, cuja aplicação consiste na penetração de um cone por meio da queda livre de um peso em altura constante. O objetivo principal do equipamento é a obtenção de uma estimativa de resistência à penetração, esta definida pelo número de ciclos empreendido pela queda de um martelo ao cravar o penetrômetro em determinado comprimento, sendo que a profundidade de solo que sofreu penetração é designada frequentemente por comprimento de penetração, este verificado normalmente a cada 10 cm (NILSSON, 2009).

O equipamento é composto por um cone com angulação de 60° e largura de 20,0mm, rosqueado em uma haste de aço com diâmetro de 16,0mm, sendo necessário no mínimo um conjunto de duas hastes para o funcionamento do equipamento. O martelo tem um peso de 8,0kg, sendo a altura de queda padronizada em 575,0mm. A profundidade do solo que sofreu penetração é denominada em comprimento de penetração, sendo este de 10,0cm (N10), visualizada através de ranhuras na haste (PEREIRA, 2010).

A Figura 3.12 ilustra o equipamento DPL.

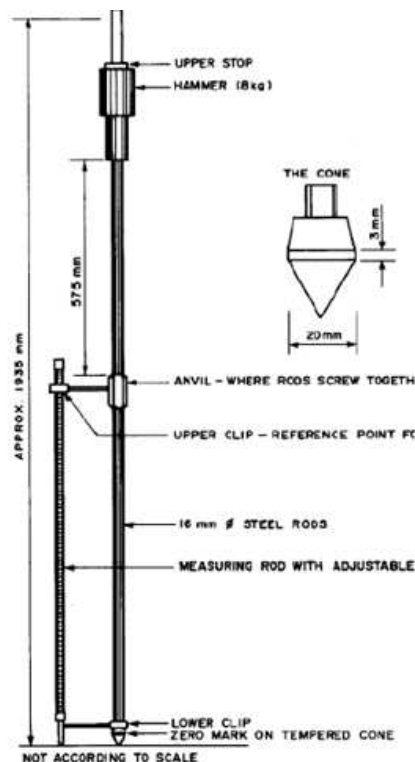


Figura 3.12 – Equipamento DPL (PEREIRA, 2010).

Segundo PEREIRA (2010), o DPL tem um elevado potencial no âmbito da infraestrutura, uma vez que além da resistência a penetração o equipamento possui aplicações no controle de compactação das camadas do pavimento, desde solos moles até materiais britados, podendo ainda ser utilizado na caracterização de maciços naturais e detecção do nível da água.

A utilização do DPL na caracterização dos solos no presente trabalho mostrou-se de grande utilidade e praticidade, visto que é um equipamento de fácil manuseio e transporte, possuindo como vantagens de utilização a energia mobilizada, aliada ao pequeno tempo na execução e aos seus resultados de rápida obtenção. Além disso, foi à única ferramenta técnica disponível durante a pesquisa para a realização de estimativas da resistência do solo no campo, constituindo uma ferramenta adicional de verificação das propriedades do material *in situ* e em laboratório.

O ensaio de penetração foi realizado em duas ocasiões na caracterização do solo 1, primeiramente utilizado *in situ* e posteriormente no laboratório.

A aplicação do ensaio no local da implantação do projeto foi realizada anteriormente a coleta de amostra do solo 1, em uma profundidade de 1,10m, sendo necessária uma superfície preservada do solo do subleito para a realização do ensaio.

Durante a penetração alguns fatores necessitam ser analisados com prudência para a obtenção de resultados confiáveis, podendo citar a verticalidade do equipamento durante a cravação e a altura de queda correta, uma vez que ambas afetam diretamente a energia de cravação (FONTES, 2001).

As Figuras 3.13 e 3.14 mostram o ensaio DPL sendo aplicado no solo 1.



Figura 3.13 – Ensaio DPL realizado no solo 1



Figura 3.14 – Leitura da penetração.

O cone do DPL foi introduzido no solo 1 até uma profundidade de 3 metros em relação a superfície, necessitando um total de 110 golpes para a cravação de 1,8 metros, com uma média aproximada de 6 golpes para a cravação de 10,0cm e um índice de penetração de 16,5 golpes/mm. Diferente do equipamento Standard Penetration Testing (SPT), o DPL não possui amostrador para a coleta e posterior caracterização da estratigrafia do terreno, porém a partir da análise dos golpes, a partir da visualização de alterações na inclinação da reta na “curva DPL”, é possível a identificação de uma alteração nas propriedades do solo.

Com a análise da penetração do DPL a partir da curva DPL, confirmou-se que o solo residual presente no pátio 1 possui resistência à penetração homogênea ao longo de toda a profundidade prospectada, uma vez que a reta apresenta um índice de penetração DPL constante (Figura 3.16).

Outro fator importante foi a não observação de presença de nível d’água durante o período de prospecção executado em campo, corroborando para a hipótese de eliminação da influência da água na concepção do dimensionamento do pavimento.

O equipamento DPL foi utilizado novamente após o corpo de prova do CBR ser ensaiado, o seu emprego tem o desígnio da comprovação se o solo ensaiado tem características semelhantes de suporte em relação ao solo natural presente no pátio 1.

Com a realização do ensaio de penetração DPL no corpo de prova (Figura 3.15) constatou-se que as características de suporte do corpo de prova são análogas ao solo presente em campo, uma vez que o valor de N10 encontrado foi de seis, idêntico ao da média de golpes realizada em campo. Entretanto, cabe esclarecer que estas correlações possuem um forte empirismo, devido as condições de fronteira e de escala em laboratório não serem representativas das situações reais de campo.



Figura 3.15 – Ensaio DPL em corpo de prova.

O resultado da investigação geotécnica realizado no solo 1 por meio do DPL pode ser visualizado nas Figura 3.16 e 3.17, sendo o perfil geotécnico do ensaio realizado no corpo de prova em função do N10, incluído para melhor visualização, uma vez que foram cravados apenas 10,0cm no solo compactado.

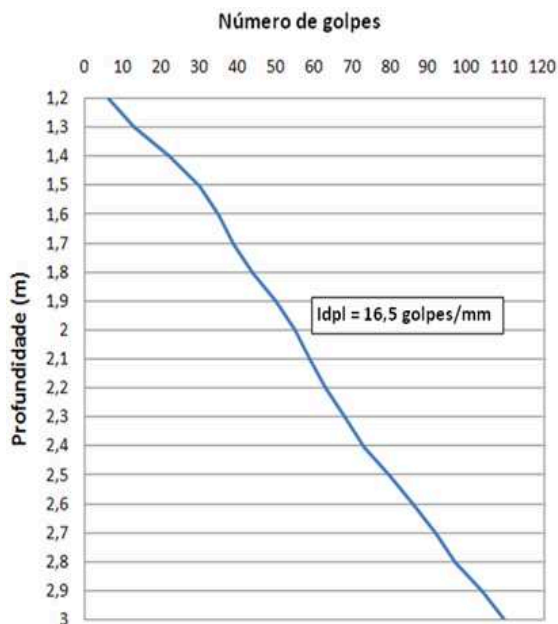
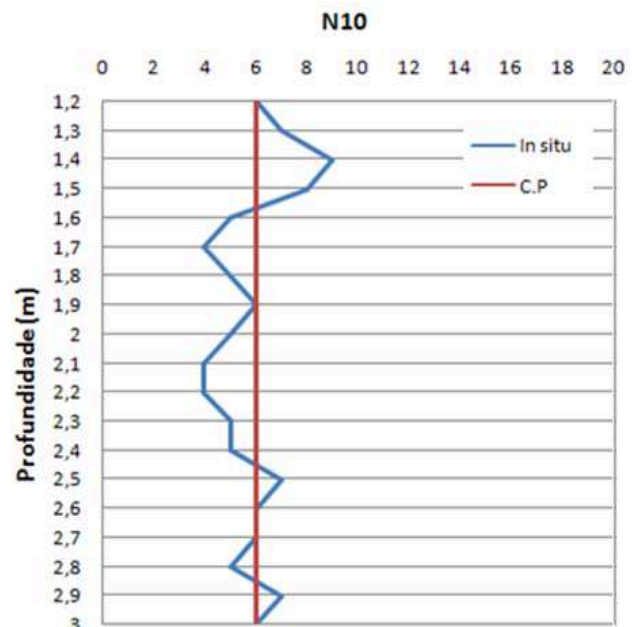


Figura 3.16 - Curva DPL – Solo 1.



3.17 - Perfil geotécnico DPL – Solo 1.

### 3.2.2. Subleito - Solo 2

Foi denominado solo 2, o solo natural que está presente no pátio 2, a partir de informações transmitida pela empresa de ônibus, antes da concepção do pátio, o local era utilizado em funções agrícolas, existindo um bananal no local. Porém não são conhecidas as medidas tomadas para a regularização do subleito existente.

Com o intuito de uma verificação do solo de fundação presente no pátio, realizou-se os procedimentos de escavação, coleta e caracterização tátil-visual do solo.

#### 3.2.2.1. Procedimento de Coleta

Como já mencionado anteriormente, com a finalidade de suceder uma caracterização mais detalhada do solo presente no pátio 2, realizou-se uma escavação no local da implantação, sendo esta por meio mecânico, através de uma retro-escavadeira, juntamente com o auxílio manual, desempenhando uma melhor adequação e coleta no poço de sondagem.

A trincheira foi escavada a uma profundidade de 1,4 metros, sendo possível a visualização do local da escavação juntamente com algumas de suas etapas na Figura 3.18.

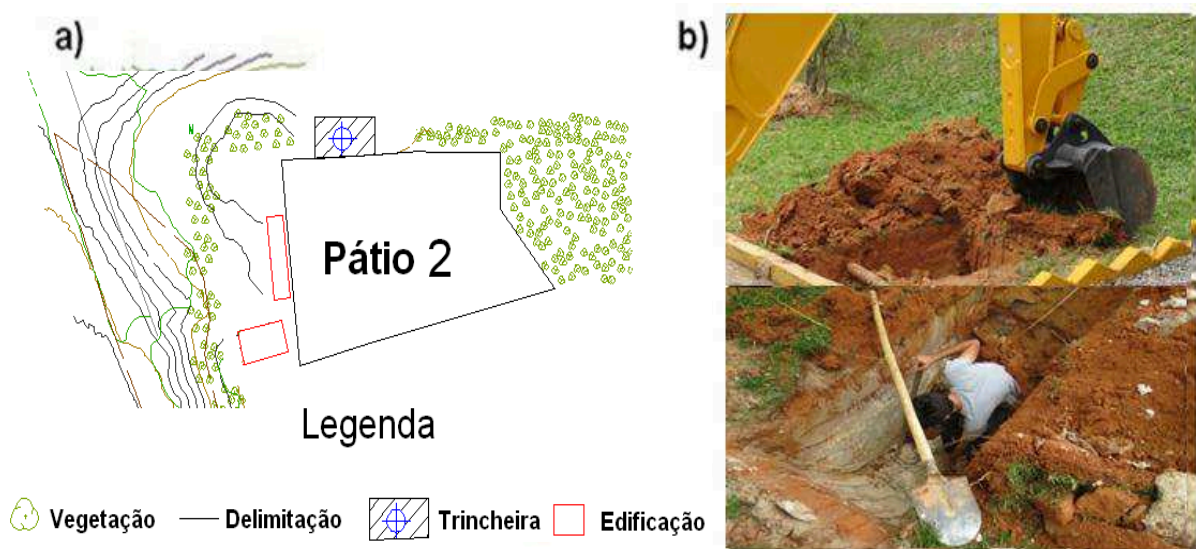


Figura 3.18 - Visão geral da (a) Planta de localização e do (b) poço de sondagem.

Assim como no solo presente no pátio 1, devido ao fato do pátio estar em funcionamento, a prospecção foi realizada próximo ao pavimento, existindo presença de uma camada de vegetação rasteira e solo orgânico (Figura 3.18).

### 3.2.2.2 Caracterização do Solo

Verificou-se durante a escavação realizada no pátio 2, a partir de uma análise tátil-visual que o solo presente no subleito é argiloso, apresentando plasticidade moderada, juntamente com a coloração variando em creme-claro e branco. Porém não é possível quantificar o índice de plasticidade, sendo necessário e recomendado a realização de ensaios de limite de consistência. Considera-se ainda válido executar análises mineralógicas por difração de raio-x, o que permite a identificação de argilominerais expansivos. A execução destes ensaios não foi possível durante a realização da pesquisa pela indisponibilidade dos equipamentos.

O solo presente no subleito do pátio 2 pode ser visualizado na Figura 3.19.



**Figura 3.19 – Solo argiloso presente no pátio 2.**

A argila presente no pátio 2, não será empregada como solo de fundação na pavimentação, pois possui baixa capacidade de suporte (circunstância esta comprovada após utilização do equipamento DPL), não conhecendo a sua expansibilidade natural. A partir desta optou-se por não efetuar a coleta de amostra para a realização de ensaios laboratoriais, porém torna-se necessário a análise de fatores como presença de nível da água e a verificação do perfil de resistência em relação à penetração do DPL.



### 3.2.2.3. Penetrômetro Dinâmico Leve

Com o propósito da verificação do perfil do solo e nível da água, juntamente com um parâmetro de resistência do solo, utilizou-se o equipamento DPL no solo 2.

Devido ao fato da escavação mecanizada realizada no pátio 2 ter atingido uma profundidade de 1,4 metros, foi necessário, com a finalidade de uma aplicação ergonomicamente favorável do equipamento, acrescentar hastes no ensaio (Figura 3.20), diminuindo eventuais erros operacionais que possam alterar nos resultados requeridos.



**Figura 3.20 – Execução ensaio DPL no pátio 2.**

Foram necessários 88 golpes para a penetração de 2,2 metros no solo 2, com uma média 3,8 golpes para a penetração de 10 centímetros (N10), comprovando a baixa capacidade de suporte presente no solo argiloso.

A verificação do nível da água é de grande importância, dado que em consequência do solo de subleito ser de característica argilosa, a presença de água afeta a sua capacidade de suporte, diminuindo a sua tensão efetiva, além de poder torná-lo potencialmente expansivo.

Até a cota de escavação (1,5m) foi verificada a não presença de nível d'água durante o procedimento de prospecção executado, o que se sucedeu mesmo após a continuidade das escavações até 3,6m. Nas Figuras 3.21 e 3.22, é possível a visualização da curva DPL, juntamente com o perfil de golpes do solo 2.

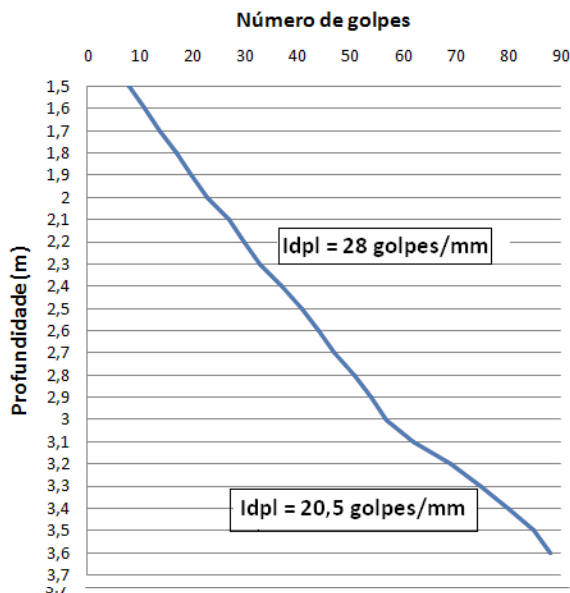


Figura 3.21 – Curva DPL – Solo 2.

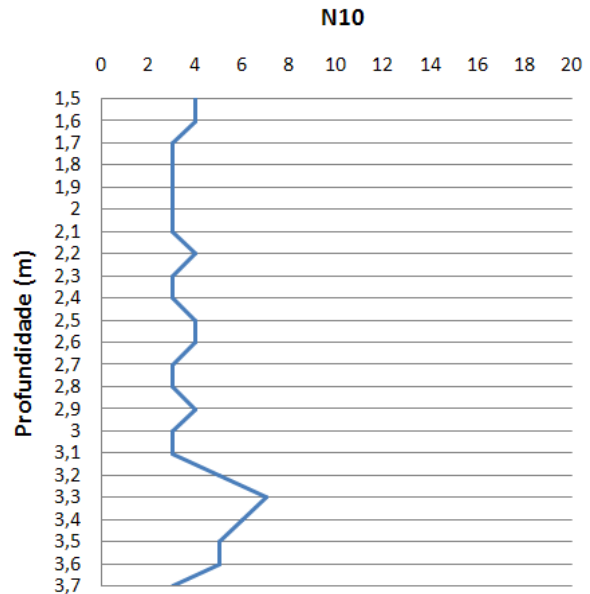


Figura 3.22 – Perfil geotécnico DPL – Solo 2.

Analisando a curva DPL É possível afirmar que até a cota de profundidade correspondente a 3,0m, o solo presente é homogêneo. Após a cota citada, ocorre uma leve mudança na reta (Figura 3.21), indicando a alteração da resistência do material, resultando em um índice de penetração menor e conseqüentemente um pequeno aumento na capacidade de suporte.

A partir do resultado é possível confirmar que a argila caracterizada durante a prospecção é considerada o solo natural presente no pátio 2, uma vez que o solo é homogêneo até uma profundidade de 3 metros, com uma pequena mudança após a respectiva cota, porém, retornando a N10 de 4 golpes na cota de 3,7 metros (Figura 3.22).

Para o dimensionamento final, em consequência da confirmação da baixa capacidade de suporte presente no solo argiloso, será considerado que o CBR de projeto é  $\leq 2,0\%$ , condição esta que imputa a previsão de uma camada de reforço de subleito e substituição recomendável dos últimos 60,0cm da referida camada, conforme prerrogativas normativas constantes em DNIT (2006).

### 3.3. INVENTÁRIO DE OCORRÊNCIAS

Com o intuito de especificar os materiais estudados que possam ser aplicados no projeto de pavimentação, verificou-se a ocorrência em jazidas e empresas existentes na região Metropolitana de Joinville.

Os seguintes materiais foram estudados:

- Solo argiloso – Jazida A
  - Saibro Arenoso – Jazida A
  - Brita Graduada Simples (BGS) – Jazida A
  - Areia – Jazida B
  - Areia Reciclada Mista (ARM) – Empresa A
  - PPC - PAVI-S – Empresa A
  - Areia Descartada de Fundição (ADF) – Empresa B
- 
- Jazida A

A jazida A (Figura 3.23) pertence a uma empresa de britagem localizada na região oeste de Joinville, especializada na mineração de materiais pétreos. São estudados os materiais de solo argiloso, saibro arenoso e brita graduada simples, todos provenientes da extração e britagem.

A distância de transporte entre a Jazida A e o local estudado para execução da pavimentação é de 9,7 quilômetros.



Figura 3.23 – Jazida A.

- Jazida B

São analisados dois tipos de areia provenientes da extração realizada na jazida B (Figura 3.24), localizada na cidade litorânea de São Francisco do Sul, cidade próxima a Joinville, a jazida é pertencente a uma empresa de britagem localizada em Joinville.

A distância de transporte entre a Jazida B e o local estudado para execução da pavimentação é de 47 quilômetros.



**Figura 3.24 – Jazida B.**

- Empresa A

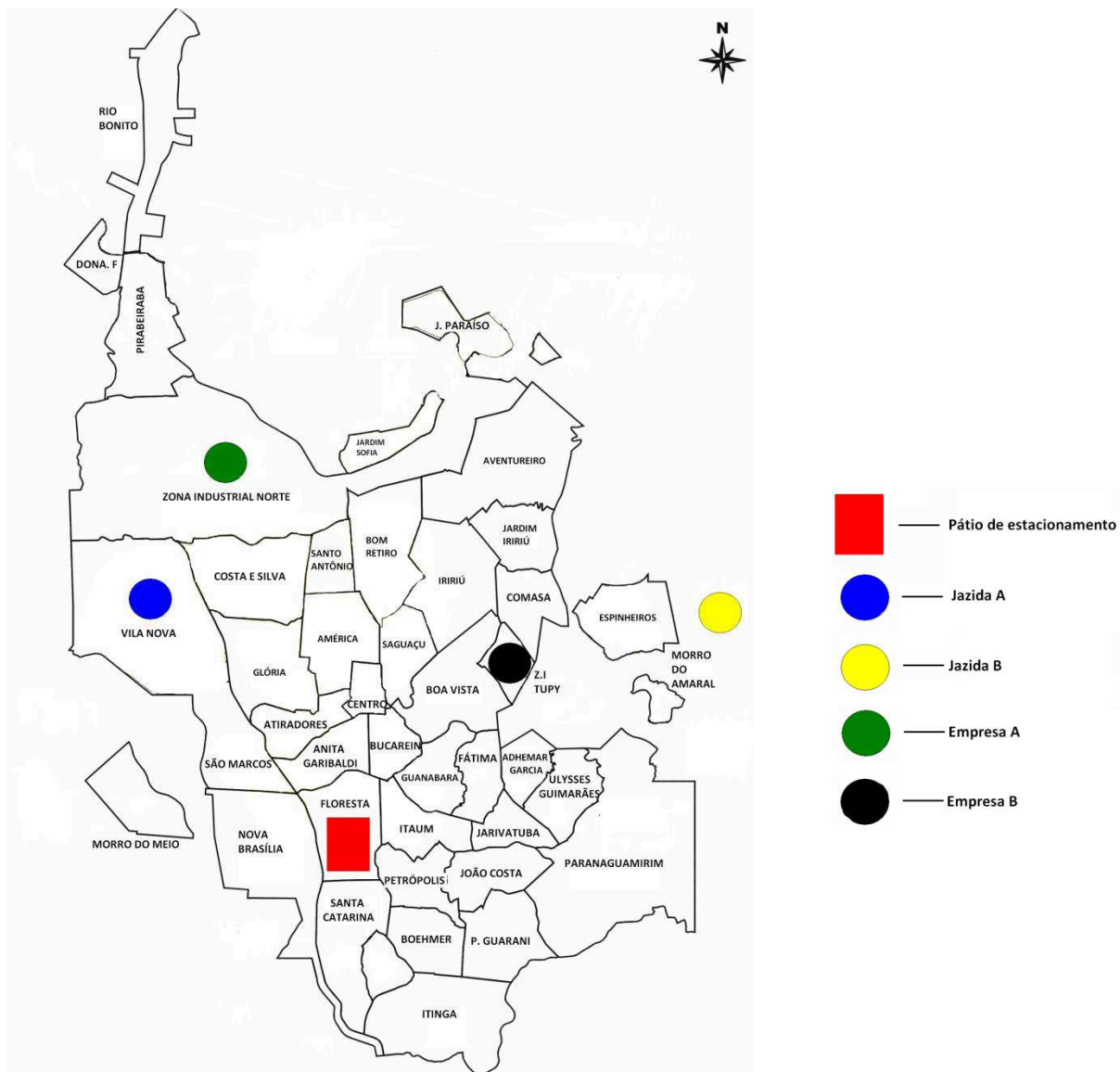
Empresa localizada em Joinville-SC, especializada em terraplenagem, fabricação de peças de concreto pré-moldado e pavimentação intertravada. São utilizados para o inventário de ocorrências os materiais de areia reciclada mista e revestimento de peças pré-moldadas de concreto do tipo PAVI-S provenientes da Empresa A. A menor distância de transporte entre a empresa A e o pátio de ônibus é de 8,5 quilômetros.

- Empresa B

O material proveniente da empresa B é a areia descartada de fundição (ADF), no qual consiste de um material de resíduo proveniente de uma indústria de fundição

localizada na região leste de Joinville, situando-se a uma distância de 10 quilômetros do pátio de estacionamento estudado.

No mapa da cidade de Joinville (Figura 3.25) é possível a visualização com mais percepção da localização das jazidas e empresas, em relação ao pátio de estacionamento de ônibus.



**Figura 3.25 – Mapa de localização - inventário de ocorrências.**

### 3.3.1. Solo Argiloso

Solo residual proveniente de alteração geológica encontrado sobre a estrutura de um maciço rochoso presente na jazida A. Sua coloração é avermelhada, sendo possível a visualização na Figura 3.26.



Figura 3.26 – Solo Argiloso – Jazida A.

Os dados de densidade seca máxima, umidade ótima, índice de suporte Califórnia e expansão, pertencentes ao solo argiloso proveniente da jazida A, os quais foram realizados nos laboratórios de Mecânica dos Solos e de Pavimentação do Centro de Engenharias de Mobilidade (CEM) da UFSC/Campus Joinville, encontram-se na Tabela 3.7.

Tabela 3.7 – Dados Solo Argiloso – Jazida A.

Solo Argiloso - Jazida A			
Energia Proctor	Normal	Intermediário	Modificada
Densidade seca máxima (g/cm <sup>3</sup> )	1,508	1,575	1,672
Umidade ótima (%)	21,8	19,7	18,8
CBR (%)	8,74	13,29	21,55
Expansão (%)	1,26	2,03	2,77

Apesar do resultado do CBR na energia intermediária apresentar um valor razoável para uma utilização em reforço de subleito, os valores de expansão eliminam o material para aplicação na pavimentação, uma vez que valores altos de expansão resultam em deformações consideráveis.

Para combater a expansibilidade do solo argiloso, adotou-se o tratamento do solo a partir da adição de areia descartada de fundição (ADF).

A areia de fundição possui função de moldagem dos metais, servindo como molde nas indústrias de fundição, no entanto, ao final do processo de fundição, o resíduo da areia de moldagem perde aplicabilidade na indústria, sendo acumulado em grandes volumes nos aterros industriais, gerando custos às empresas produtoras desse resíduo, além de contribuir à contaminação do meio ambiente.

Logo, a utilização da ADF como solução de pavimentação ocasiona benefícios para o meio ambiente, demonstrando um exemplo de aproveitamento em larga escala deste resíduo, mitigando maiores descartes em depósitos industriais, e que geram dispêndios de importantes somas de capital às empresas para depositarem este material nestas instalações especializadas.

Com o objetivo da redução desta problemática, o reaproveitamento da areia de descarte de fundição é frequentemente estudado como mistura para aplicação em vários setores da engenharia civil. KLINSKY (2008) propôs a utilização da areia de fundição como adição em solos lateríticos, com o objetivo de empregá-la em camadas de sub-base e base.

Em relação à expansão, principal objetivo para proposta da utilização neste trabalho, KLINSKY (2008) concluiu que a expansão decresce com o aumento da porcentagem de ADF no solo, validando a verificação da utilização.

Para verificação da redução da expansão natural do solo argiloso estudado, foram realizadas adições de ADF provenientes da empresa B, visando à aceitação do material como reforço de subleito (expansão  $\leq 1,0\%$ ), de acordo com a normatização vigente (DNIT 138/2010).

Estabeleceu o estudo de duas misturas solo/ADF. As porcentagens de adição de ADF indicadas abaixo, em relação ao peso seco da argila foram adotadas com base na pesquisa desenvolvida por KLINSKY (2008):

- a) 30% Areia Descartada de Fundição;
- b) 50% Areia Descartada de Fundição.

Os materiais ensaiados podem ser visualizados na Figura 3.27.



**Figura 3.27 – Areia de Fundição e Solo Argiloso.**

Para obtenção da umidade ótima, juntamente com a densidade seca máxima dos materiais mistos, realiza-se o ensaio de compactação Proctor na energia intermediária (Figura 3.28). É necessária a realização da mistura com um dia de antecedência para que a real umidade do material misturado não seja mascarada pela areia descartada de fundição. As curvas de compactação podem ser vistas na Figura 3.29.



**Figura 3.28 – Compactação Proctor com 50% ADF.**



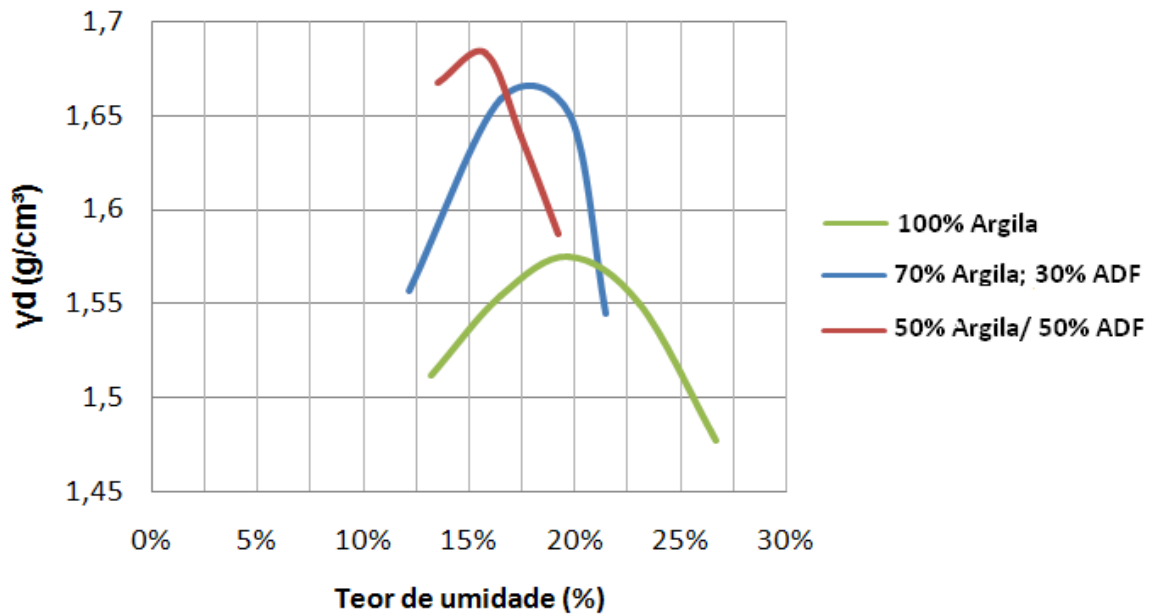


Figura 3.29– Curvas de compactação – Argila/ADF.

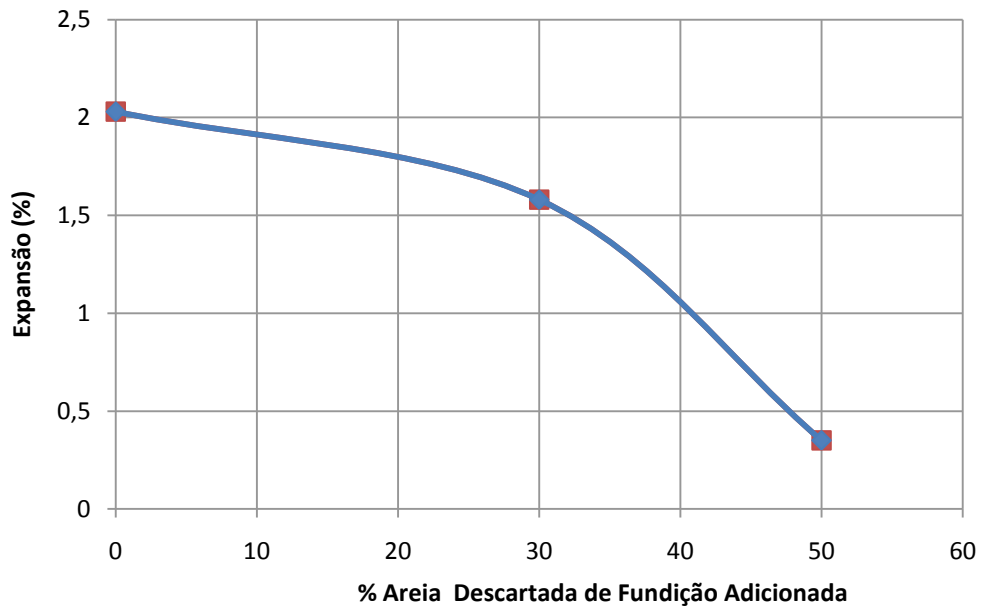
Com o acréscimo da adição da areia de descarte de fundição no solo argiloso verificou-se o aumento da massa específica seca máxima, o que não ocorre com o teor de umidade ótimo, uma vez que este apresenta um decréscimo. Os resultados do ensaio de compactação encontram-se na Tabela 3.8.

Tabela 3.8 – Resultado Ensaio Compactação – Argila/ADF.

Areia Descartada de Fundição	0%	30%	50%
Umidade ótima (%)	19,7	16,5	15,8
$\gamma_d$ máx (g/cm <sup>3</sup> )	1,575	1,658	1,683

A partir dos resultados do ensaio de Compactação Proctor das misturas Solo/ADF realiza-se o ensaio de CBR e expansão para os mesmos teores de adição. Os corpos de prova são compactados na umidade ótima e emergidos por 96 horas.

Na Figura 3.30 encontram-se os resultados da variação da expansão em função da crescente porcentagem adicionada de areia descartada de fundição. É possível verificar que a expansão diminui com o aumento do teor de areia de um valor inicial de 2,03% até um valor de 0,35% pertencente a uma adição de 50% de ADF.



**Figura 3.30 – Variação da expansão em função do teor de ADF adicionado.**

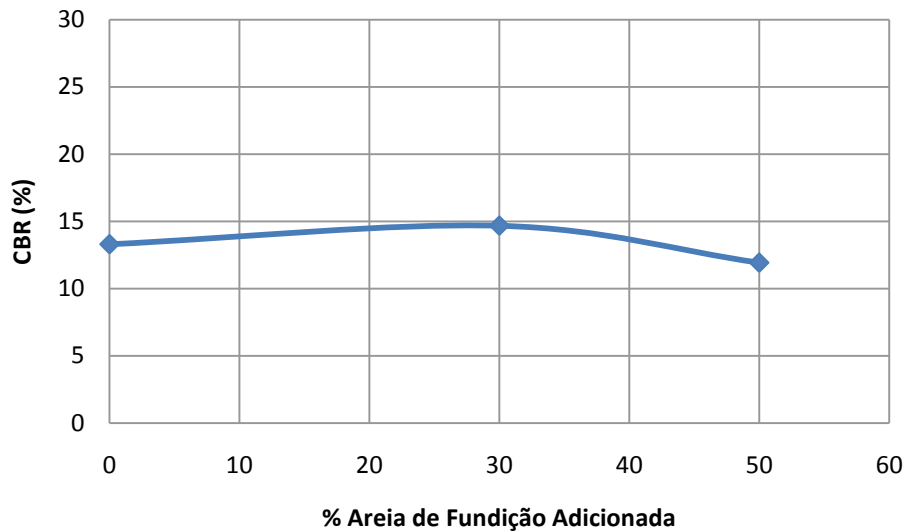
A diminuição da expansão está relacionada com o percentual de material arenoso em substituição do argiloso, dado que a expansão está fortemente ligada aos fatores intrínsecos, no qual a variação do volume é intimamente ligada à natureza e arranjo de suas partículas (SIMÕES, 1987 *apud* PEREIRA, 2004).

Os solos argilosos são constituídos de materiais finos com partículas lamelares, conseqüentemente sua expansão é maior na presença da água. PEREIRA (2004) comenta que essa expansão é conseqüência da capacidade de adsorção de água na superfície externa e da entrada de moléculas de água na sua estrutura interna, aliada á potencial presença de argilominerais expansivos, como a montmorilonita, por exemplo.

Em relação aos valores de CBR, não houve mudanças drásticas em relação ao material puro, um aumento em torno de 2% com o acréscimo de 30% de areia de fundição, no entanto um decréscimo de 1,4%, com o acréscimo de 50% de areia em relação ao solo natural. A Tabela 3.9 demonstra os valores ensaiados de CBR, e a Figura 3.31 representa graficamente esta variação.

**Tabela 3.9 – Resultados obtidos através do ensaio de CBR em relação ao acréscimo de areia descartada de fundição.**

Mistura	0% A.F	30% A.F	50% A.F
CBR (%)	13,29	14,67	11,92



**Figura 3.31 – CBR versus teor de areia de fundição adicionada ao solo argiloso.**

A areia de fundição não possui propriedades pozolânicas, ou seja, cimentícias, que possam agregar no aumento da resistência mecânica dos solos. Por esta razão, é possível observar a constância dos valores de CBR obtidos durante a pesquisa, mesmo após elevados teores de areia descartada de fundição terem sido utilizados. Os resultados de CBR e expansão indicam que o solo argiloso proveniente da Jazida A com adição de 50% de areia descartada de fundição pode ser utilizado como material para reforço de subleito, segundo a normatização do DNIT 138/2010 ( $CBR \geq CBR$  Subleito e  $expansão \leq 1,0\%$ ).

É importante esclarecer que durante o período dos ensaios realizados em laboratório ocorreu uma forte chuva na cidade de Joinville, acarretando na inundação dos laboratórios da Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Joinville. As conseqüências nesse trabalho foram determinantes, pois o solo 1 apresentado no tópico 3.2.1, e que constitui o terreno natural de fundação da área estudada, foi totalmente contaminado pela referida inundação, impossibilitando a realização de um estudo mais aprofundado. Além disso, foi apurado ser inviável obter nova permissão da empresa para escavação do seu pátio de estacionamento de ônibus para fins de novo recolhimento de amostras do subleito.

Mesmo com a impossibilidade da realização de ensaios diretamente no solo presente no pátio 1, foi previsto a adição de 50% de areia descartada de fundição no solo com o intuito da redução da expansão.

A escolha da adição do resíduo proveniente da empresa B foi estabelecida pelo fato de ter sido utilizado no solo argiloso presente na camada de reforço, resultando positivamente no combate à expansão. É possível afirmar com base nos ensaios de Compactação e CBR executados, que o solo do subleito e da camada de reforço possuem características geotécnicas semelhantes, isto é, argilosos e com expansão acima dos limites especificados normativamente, corroborando à utilização da areia descartada de fundição para redução das taxas de expansão do solo.

É previsto um tratamento nos primeiros 60,0cm de solo no pátio 1, realizando a mistura no local do pátio de estacionamentos, seguida de compactação, conforme recomendações normativas previstas em DNIT(2006).

### **3.3.2. Saibro Arenoso**

Saibro pode ser definido como um solo residual areno-argiloso, podendo conter pedregulhos provenientes de alteração de rochas graníticas ou gnáissicas (DNIT, 2006).

A Figura 3.32 ilustra o saibro proveniente da jazida A, que será estudado como possível material para aplicação no projeto de pavimentação.



**Figura 3.32 – Saibro – Jazida A.**

Os dados provenientes de ensaios de compactação e CBR executados com as amostras de saibro são apresentados na Tabela 3.10.

**Tabela 3.10 – Informações Saibro Arenoso – Jazida A.**

<b>Saibro - Jazida A</b>			
<b>Energia Proctor</b>	<b>Normal</b>	<b>Intermediário</b>	<b>Modificada</b>
<b>Densidade seca máxima (g/cm<sup>3</sup>)</b>	1,671	1,771	1,837
<b>Umidade ótima (%)</b>	16,6	14,4	12,1
<b>CBR (%)</b>	17,68	35,07	57,97
<b>Expansão (%)</b>	0,04	0,09	0,07

Apesar do saibro ser largamente empregado como reforços e sub-bases no Brasil, ABEDA (2010) afirma que mesmo apresentando valores de CBR elevados, os saibros podem apresentar elevada deformabilidade devido sua natureza geotécnica, ou seja, arenoso, o que enseja a ocorrência de recalques imediatos nos primeiros momentos de carregamento do pavimento, os quais podem gerar desníveis na superfície acabada de revestimento. Além disso, existe a preocupação com a resistência mecânica destes solos, pois em determinados casos podem apresentar comportamento friável sob aplicação de carregamento dinâmico.

Devido ao fato do pátio de ônibus receber cargas pontualmente concentradas, a verificação da deformabilidade no saibro proveniente da jazida A se faz necessária. Para tanto, realizou-se o ensaio de índice de desgaste após compactação Marshall sem ligante ( $ID_m$ ).

### **3.3.2.1. Índice de Desgaste Após Compactação Marshall sem Ligante – $ID_m$**

Para a realização do ensaio, foram empregadas todas as normas padronizadas pelo DNER-ME 401 (1999) – Agregados – determinação do índice de degradação de rochas após compactação Marshall, com ligante –  $ID_{ML}$  e sem ligante  $ID_m$ .

Primeiramente na preparação da amostra, a secagem em estufa do material foi realizada e após secagem, o material passante na peneira 19,1mm foi moldado no cilindro Marshall (Figura 3.33) para a obtenção da quantidade correta de saibro a ser ensaiado.



**Figura 3.33 – Amostra antes da compactação Marshall.**

É realizado o ensaio de granulometria no material em estado natural, utilizando as peneiras grossas (19,1mm, 12,7mm, 9,5mm e 4,8mm) e as peneiras finas (2,2mm, 1,2mm, 0,6mm, 0,42mm, 0,3mm, 0,15mm e 0,075mm), posteriormente pesa-se todas as frações retidas.

Com a granulometria realizada, as frações peneiradas são homogeneizadas no mesmo recipiente, formando o corpo de prova dentro do molde de compactação, onde são aplicados 50 golpes em cada face do corpo de prova com o auxílio do equipamento de soquete Marshall (Figura 3.34).

O soquete Marshall é padronizado, pesando 4.540 gramas e possuindo uma altura de queda livre de 45,72 centímetros.



**Figura 3.34 – Corpo de prova sendo ensaiado no soquete Marshall.**

Após aplicação dos golpes em ambas as faces do corpo de prova, o material é novamente ensaiado granulometricamente. Na Figura 3.35 é possível visualizar que as partículas do saibro diminuíram, tornando-se um material mais fino.



**Figura 3.35 – Saibro após compactação Marshall.**

O índice de desgaste é correspondente a diferença entre a granulometria após compactação e a natural.

No cálculo  $ID_m$ , apenas as peneiras 25,4mm, 19,1mm, 9,5mm, 4,80 mm, 0,42 mm e 0,075mm são utilizadas (Equação 3.6).

$$ID_m = \frac{\Sigma \text{desgaste}}{6} \quad (3.2)$$

Pela normatização do DNER-ME 401 (1999), o índice de desgaste máximo sem ligante após compactação Marshall é  $\leq 8,0\%$ .

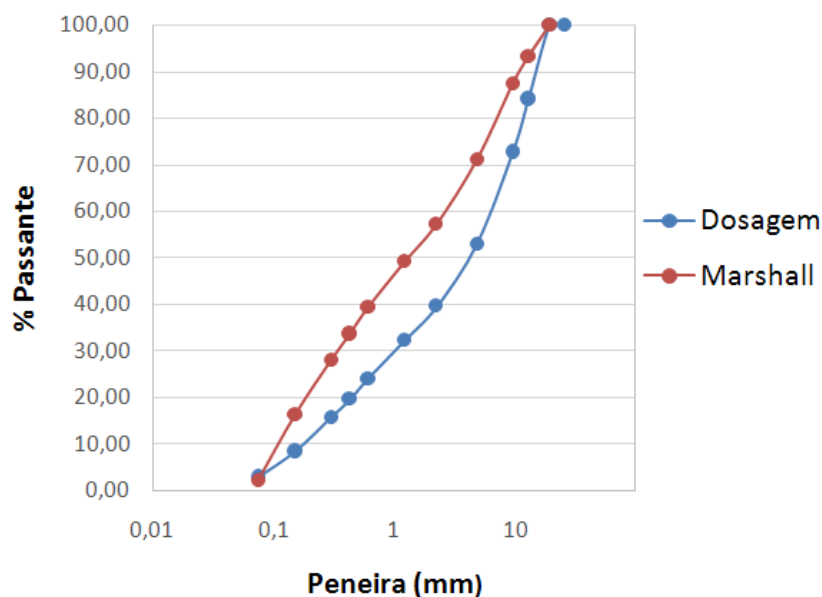
Na tabela 3.11, é possível visualizar os resultados das granulometrias realizadas antes e depois da compactação, juntamente com o resultado do índice de desgaste após compactação Marshall sem ligante.

Tabela 3.11 – Resultado ensaio ID<sub>m</sub>.

PENEIRAS		Granulometria Dosagem	Após Compactação	
			Marshall	Desgaste
Poleg.	mm			
1"	25,4	100,00	100,00	0,00
3/4"	19,1	100,00	100,00	0,00
1 1/2"	12,7	84,16	93,24	9,08
3/8"	9,50	72,84	87,42	14,59
4	4,80	53,04	71,06	18,03
10	2,20	39,59	57,30	17,71
16	1,20	32,21	49,16	16,95
30	0,60	24,00	39,35	15,35
40	0,42	19,63	33,71	14,08
50	0,30	15,66	28,03	12,37
120	0,15	8,48	16,36	7,89
200	0,075	2,92	2,19	-0,73
			ΣD	45,96
			ID <sub>m</sub> = ΣD/6	7,7%

Com um resultado de IDM igual a 7,7 o saibro arenoso proveniente da jazida A, mesmo apresentando um valor próximo do limite máximo admissível de degradação, enquadrou-se nos requisitos estabelecidos pela norma DNER-ME 401 (1999), podendo ser utilizado como solução de pavimentação.

As curvas granulométricas, do material natural antes da compactação e após compactação Marshall, podem ser vistas na Figura 3.36, onde como já mencionado, demonstram a redução das partículas.

Figura 3.36 – Curvas granulométricas Saibro - Ensaio ID<sub>m</sub>.



### 3.3.3. Brita Graduada Simples (BGS)

Brita graduada é definida segundo o DNIT (2006) como uma camada de base ou sub-base composta por mistura de agregados advindos de usinas de produtos de britagem de rocha previamente dosados. Pelo fato da BGS consistir uma faixa granulométrica descontínua, torna-se uma camada estável.

Existem algumas normatizações para a utilização de brita graduada em projeto de pavimentação, segundo DER/SP (2005), a mistura dos agregados necessita atender os seguintes requisitos.

- Ao ser utilizado como camada de base, a curva de mistura de agregados deve se enquadrar em uma das faixas granulométricas especificadas pelo DNIT (2010), presente na Tabela 3.12;
- A faixa de trabalho, definida a partir da curva granulométrica de projeto, deve obedecer à tolerância indicada para cada peneira na Tabela 3.12, porém respeitando os limites da faixa granulométrica indicada;
- Quando ensaiada de acordo com a NBR 9895 (1987), na energia modificada, a mistura deve ter CBR igual ou superior a 100% e expansão igual ou menor a 0,3%;
- A porcentagem do material que passa na peneira número 200, não deve ultrapassar 2/3 da porcentagem que passa na peneira número 40.

A Figura 3.37 ilustra a brita graduada simples.



**Figura 3.37 –Brita Graduada Simples – Jazida A.**

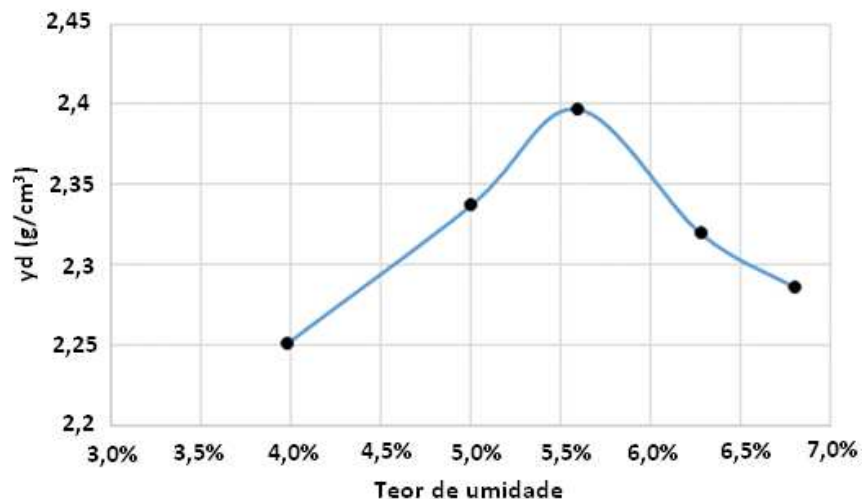
As faixas granulométricas para utilização em camada de base estabilizada granulometricamente, normatizada por DNIT (2010), são apresentadas na Tabela 3.12.

**Tabela 3.12 - Faixas granulométricas - (DNIT, 2010).**

Tipos	Para $N > 5 \times 10^6$				Para $N < 5 \times 10^6$		Tolerâncias de faixa de projeto
	A	B	C	D	E	F	
Peneiras							
	% em peso passando						
2"	100	100	-	-	-	-	$\pm 7$
1"	-	75-90	100	100	100	100	$\pm 7$
3/8"	30-65	40-75	50-85	60-100	-	-	$\pm 7$
N° 4	25-55	30-60	35-65	50-85	55-100	10-100	$\pm 5$
N°10	15-40	20-45	25-50	40-70	40-100	55-100	$\pm 5$
N° 40	8-20	15-30	15-30	25-45	20-50	30-70	$\pm 2$
N° 200	2-8	5-15	5-15	10-25	6-20	8-25	$\pm 2$

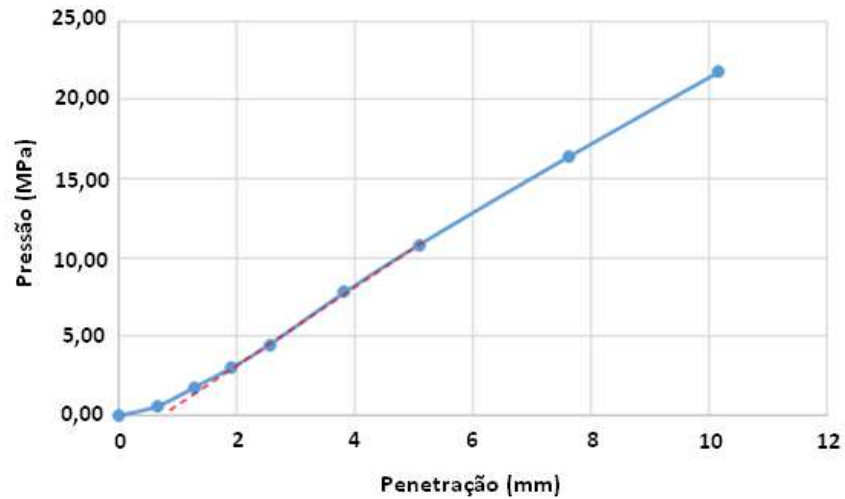
A brita graduada pertencente à jazida A é analisada a partir dos resultados de ensaios realizados de Compactação Proctor, CBR e Granulometria, uma vez que estes são ensaios reguladores para a sua utilização.

No ensaio de compactação na energia modificada, a umidade ótima encontrada foi de 6,28% e a massa específica seca máxima de 2,32 g/cm<sup>3</sup>. A curva de compactação da brita graduada pode ser visualizada na Figura 3.38.



**Figura 3.38 – Curva de Compactação – Brita Graduada Simples – Jazida A.**

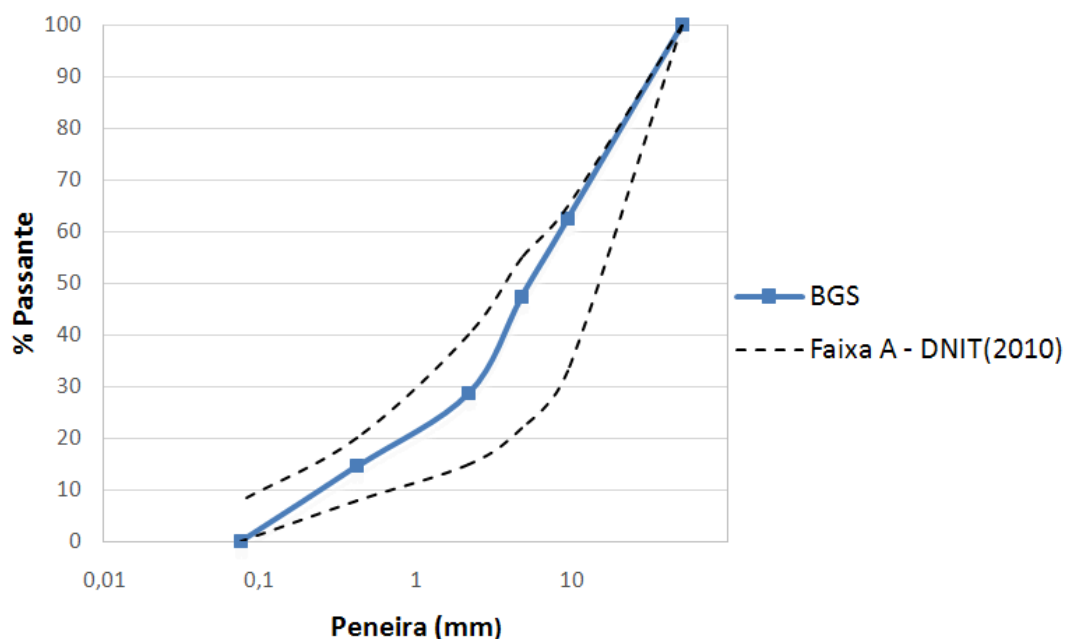
O ensaio de CBR foi realizado em um corpo de prova compactado sob energia modificada com a umidade ótima, encontrando um valor de 100% e expansão de 0%, a curva de CBR, juntamente com a reta de correção encontra-se na Figura 3.39.



**Figura 3.39– Curva de CBR – Brita Graduada Simples – Jazida A.**

Comparando o percentual passante das peneiras, visualizou-se que a curva de granulometria se encaixa na faixa A, sendo esta, proposta na normatização do DNIT (2010) (Tabela 3.12).

A curva granulométrica pertencente à BGS estudada juntamente com a faixa A do DNIT (2010) pode ser vista na Figura 3.40.



**Figura 3.40 – Curva Granulométrica BGS – Jazida A.**

### 3.3.4. Areia

Foram analisados três tipos de areia proveniente de dois locais distintos, duas pertencentes à jazida B e uma terceira proveniente da empresa A. O principal objetivo do estudo é a obtenção de um material que atenda as necessidades e requisitos para a utilização no colchão de assentamento do pavimento proposto.

Como critérios de aceitação utilizou-se a análise da distribuição granulométrica dos materiais, em comparação com a faixa utilizada no Brasil para areia de assentamento, recomendada por CARVALHO (1998), podendo esta ser encontrada na Tabela 2.1.

A análise granulométrica consiste na determinação das porcentagens, em peso, das diferentes frações constituintes da fase sólida do solo (DNIT, 2006).

Para a obtenção da distribuição granulométrica das areias estudadas realizou-se o ensaio de granulometria por peneiramento, sendo utilizado as peneiras com malhas de abertura 9,50mm, 4,80mm, 1,20mm, 0,60mm, 0,30mm, 0,15mm e 0,075mm.

Separou-se uma amostra representativa de aproximadamente três quilos de material para a realização do ensaio no agitador de peneiras (Figura 3.41).



**Figura 3.41 – Ensaio de granulometria por peneiramento.**

A areia proveniente da Jazida B foi extraída de uma cava (Figura 3.42), na qual os agregados são dragados por meio de uma escavadeira, retirando do local amostra de dois tipos de areia, uma com coloração clara e outra de coloração escura.



**Figura 3.42 – Escavadeira extraíndo areia e carregando o caminhão basculante – Jazida B.**

Para melhor identificação foi proposto que a areia de coloração clara seja nomeada de Areia B – Clara, e em contrapartida a escura, Areia B - Escura.

A Areia B - Clara é muito semelhante com o solo eólico presente nos depósitos ao longo do litoral, dispendo de suas partículas visivelmente finas.

No caso da Areia B - Escura, verificou-se uma granulometria semelhante à da areia clara, porém, como já ressaltado, com diferente coloração e textura, fato que merece melhor investigação em trabalhos futuros, com o intuito de verificar quais elementos influenciam nesta distinção, pois além de ser extraída do mesmo ambiente que a areia clara, não apresenta cheiro característico relacionado à presença de matéria orgânica em sua composição.

Na Figura 3.43 é possível visualizar os dois tipos de areia provenientes da Jazida B.

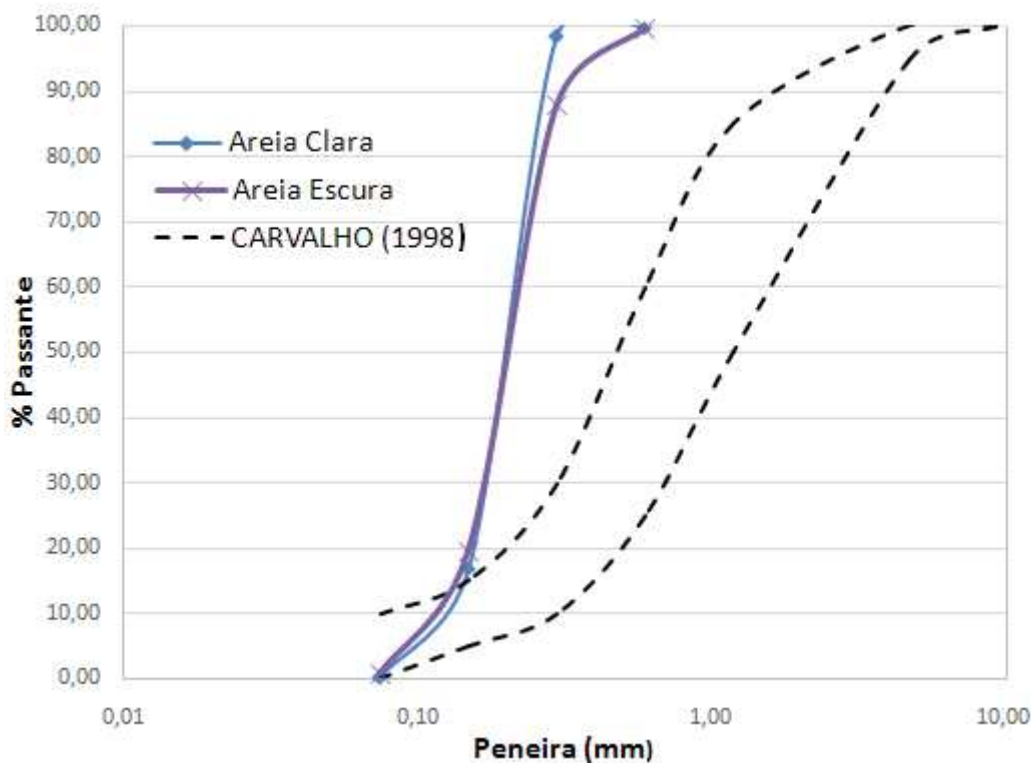


**Figura 3.43 – Areia B - Clara e Areia B - Escura.**

A partir do peneiramento constatou-se que as areias presentes na jazida B possuem suas partículas muito finas e graduadas com um percentual elevado retido na peneira 0,15mm. Apesar da diferença visual e tátil, as partículas das duas amostras são semelhantes, podendo ser visualizado a partir dos percentuais passantes apresentados na Tabela 3.13 e nas curvas granulométricas (Figura 3.44).

**Tabela 3.13 - Porcentual Passante das areias A e B – Jazida B.**

Peneiras	% Passante		
	Areia A - Clara	Areia A - Escura	CARVALHO (1998)
9,5	100	100	100
4,8	100	100	95 a 100
1,2	99,94	99,94	50 a 85
0,6	99,74	99,57	25 a 60
0,3	98,43	87,83	10 a 30
0,15	16,96	19,43	5 a 15
0,075	0,29	0,84	0 a 10



**Figura 3.44 – Curvas granulométricas das areias – Jazida B.**

Pelo fato da areia proveniente da jazida B ser muito fina e bem graduada, sua granulometria não se encaixa na faixa proposta por CARVALHO (1998), sendo esta rejeitada para utilização no colchão de areia do projeto proposto.

Devido esta recusa, buscou-se uma terceira opção para a aplicação no pavimento, sendo esta proveniente da empresa A, especializada na reciclagem de resíduos da construção civil com o intuito de produzir agregados para utilização em diversas áreas, tal como areias para colchão de assentamento para pavimentos intertravados.

A Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição (2015) cita várias vantagens econômicas, sociais e ambientais da reciclagem e reutilização do entulho, podendo destacar a contribuição para o decréscimo da poluição e o aumento da preservação das reservas naturais.

O processo de reciclagem dos resíduos é realizado em etapas, sendo estas ilustradas na Figura 3.45.

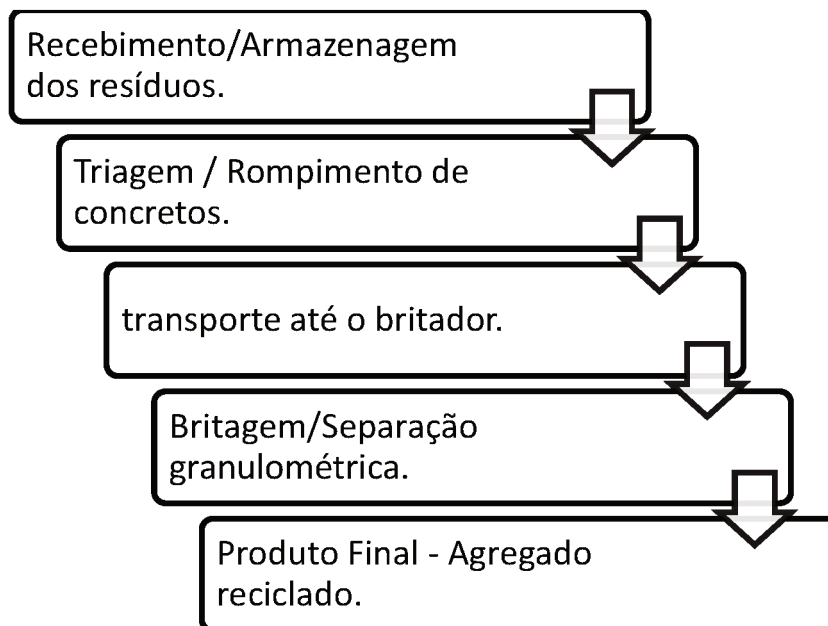


Figura 3.45 – Processo de reciclagem de resíduos.

Na Figura 3.46 é possível visualizar as etapas de britagem dos resíduos e a separação granulométrica do agregado reciclado na empresa A.



**Figura 3.46 – Reciclagem de materiais provenientes de resíduos da construção civil – Empresa A.**

A areia estudada (Figura 3.47) é denominada areia reciclada mista (ARM) e para sua obtenção o material a ser reciclado é o de segunda categoria, constituído de materiais provenientes de resíduos de telhas, tijolos, blocos pré-moldados, argamassa e pisos de concreto ou cerâmico.



**Figura 3.47 – Areia Reciclada Mista – Empresa A.**

Em laboratório realizou-se na ARM o ensaio de granulometria com o intuito de obter percentuais passantes em cada peneira utilizada. O resultado encontrado,

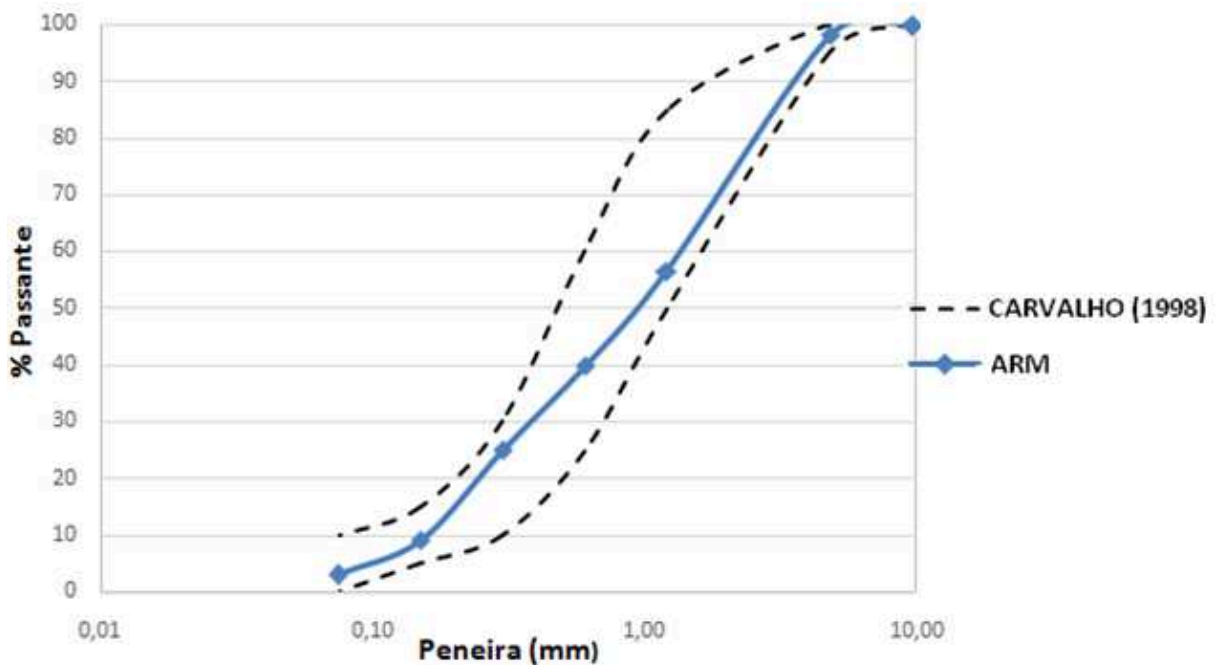


juntamente com a faixa granulométrica proposta por CARVALHO (1998) encontra-se na Tabela 3.14.

**Tabela 3.14 – Porcentual Passante das areias estudadas.**

Peneiras	% Passante	
	ARM - Areia B	CARVALHO (1998)
9,5	100	100
4,8	98,20	95 a 100
1,2	56,59	50 a 85
0,6	39,88	25 a 60
0,3	25,15	10 a 30
0,15	9,22	5 a 15
0,075	2,99	0 a 10

Apenas a areia reciclada mista (ARM) proveniente da empresa A mostrou-se apta a ser empregada como areia de assentamento no presente projeto de pavimentação. A curva granulométrica da ARM, em relação à faixa proposta por CARVALHO (1998) pode ser vista na Figura 3.48.



**Figura 3.48 – Faixa granulométrica ARM, em relação à faixa granulométrica proposto por CARVALHO (1998).**

### 3.3.5. Revestimento

Como já mencionado anteriormente, o material de revestimento aplicado no projeto de pavimentação consiste em peças pré-moldadas de concreto, ocorrendo à necessidade que estas peças estejam de acordo com as normatizações, a fim de garantir condições exigíveis para aceitação no mercado e conseqüentemente um bom desempenho em campo. As normas que fixam as condições sobre as PPC são as seguintes:

- NBR 9780/1987 - Peças de concreto para pavimentação determinação da resistência a compressão;
- NBR 9781/1987 - Peças de concreto para pavimentação.

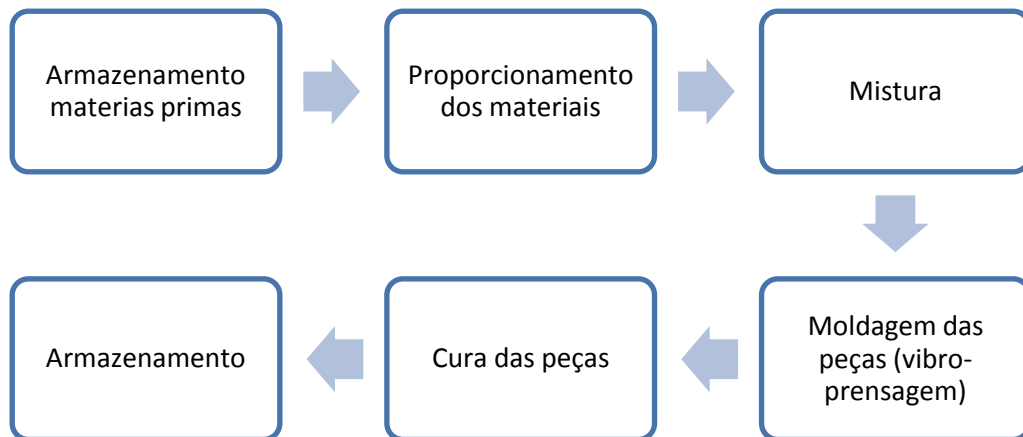
As normatizações abordam condições de aceitação para diversos fatores, sendo estes os materiais, dimensões, inspeção de lotes e resistência à compressão simples.

Na fabricação de artefatos de concreto, a técnica de concreto seco é amplamente utilizada uma vez que permite o imediato desmolde do concreto na fôrma, elevando a produtividade.

De acordo com MARCHIONI (2012), a principal característica dessa técnica é o baixo teor de água na composição e a elevada coesão, necessitando energia de compactação e vibração para a eliminação de vazios, assumindo a forma desejada.

Buscou-se na Empresa A, especializada na fabricação de peças de concreto, alguns dados referentes à fabricação, juntamente com resultados de ensaios para a determinação da utilização no projeto em questão.

É possível visualizar no elemento gráfico (Figura 3.49) as etapas envolvidas no processo produtivo das peças realizado na empresa A.



**Figura 3.49 – Etapas do processo construtivo de peças de concreto.**

O traço adotado para a fabricação das peças foi fornecido pela empresa, os materiais utilizados para a composição do concreto são: cimento, areia fina, areia grossa, pedrisco e água. O traço referente à massa do cimento pode ser encontrado na Tabela 3.15.

**Tabela 3.15 – Traço adotado para fabricação das peças de concreto – Empresa A.**

Material	Cimento	Areia Fina	Areia Grossa	Pedrisco	Água
Traço	1	1,27	2,27	0,91	0,13

Na produção das peças na empresa, o concreto fresco, já dosado de acordo com a tabela 3.15, é moldado na vibroprensa com um tempo de vibração de 11 segundos, após a moldagem completa, as peças vão para câmara onde permanecem com umidade controlada por 48 horas para a realização preliminar da cura, sendo estocados em seguida de forma unitizada até completar a cura do concreto.

As Figuras 3.50 e 3.51 mostram os processos de moldagem e cura das peças na empresa A.



**Figura 3.50 – Fabricação PPC**



**Figura 3.51 – Cura dos PPC**

A NBR 9781 (1987) estabelece critérios de aceitação em relação a resistência à compressão simples das peças de concreto utilizadas em pavimentos intertravados, gerando a necessidade de verificação dos blocos proveniente da empresa A, aferindo se estão de acordo com os critérios. A verificação é realizada a partir de resultados de um ensaio de ruptura de PPC do tipo PAVI-S fornecidos.

As peças apresentam dimensões de 8,0cm de espessura, 100,0 cm de largura e 200,0cm de comprimento, sendo que as tolerâncias dimensionais estão de acordo com a normatização.

A resistência média fornecida pela empresa colaboradora foi de 42,9MPa e a resistência característica, de 39,6MPa, resultado este que valida a utilização para a pavimentação caso sejam utilizados peças com resistência de 35,0MPa. O resultado do ensaio de compressão simples realizado na peça do tipo PAVI-S encontra-se na Tabela 3.16.

**Tabela 3.16 – Resultado ensaio à compressão simples – Empresa A.**

Nº Peça	Dimensões do pavi-s (mm)			Data Mold.	Data Ruptura	Idade (dias)	dm (cm)	At (cm <sup>2</sup> )	Carga Ruptura (KN)	Fator Multiplic ativo "p"	Resistência à Compressão Fpi (Mpa)	Resistência Média Fp (Mpa)	Desvio Padrão	Coeficiente da Student "t"	Resistência Característica Fpk (Mpa)
	Altura (h)	Larg. (a)	Comp. (b)												
7	81,7	102,6	200,0	27/5/14	17/7/14	51	9,0	63,617	297,38	1,004	46,9	42,9	3,6	0,920	39,6
8	82,0	102,0	200,0	27/5/14	17/7/14	51	9,0	63,617	241,33	1,005	38,1				
9	79,0	101,0	200,0	27/5/14	17/7/14	51	9,0	63,617	269,81	0,998	42,3				
10	79,60	102,0	200,0	27/5/14	17/7/14	51	9,0	63,617	264,40	0,999	41,5				
11	79,10	102,0	200,1	27/5/14	17/7/14	51	9,0	63,617	301,01	0,998	47,2				
12	79,0	101,0	200,0	27/5/14	17/7/14	51	9,0	63,617	262,35	0,998	41,1				

## **CAPÍTULO 4**

### **DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO**

A partir de todos os dados pertinentes referentes ao solo de subleito dos pátios em conjunto dos possíveis materiais para utilização nas camadas do pavimento, é realizado o dimensionamento do projeto de pavimentação.

Primeiramente estuda-se o tráfego imposto nos pátios de estacionamento, uma vez que as cargas atuantes durante a vida útil estão fortemente ligadas às espessuras das camadas do pavimento.

#### **4.1. ESTUDO DO TRÁFEGO**

O estudo do tráfego da frota de ônibus em um pátio de estacionamento necessita ser tratado com cautela, pois as características de movimentação e transmissão de cargas ao pavimento são particulares, logo, distintas em relação à circulação em uma via urbana. Entre estes aspectos podem ser ressaltados os seguintes:

- Longas horas de cargas aplicadas sob a forma estática nos horários de paralisação da frota, contribuindo para a aplicação de esforços pontuais na superfície do pavimento e que, normalmente geram deformações permanentes localizadas na estrutura;
- Execução de um excessivo número de manobras pela frota, acarretando em esforços tangenciais que resultam na movimentação horizontal e rotacional das placas pré-moldadas de concreto;
- Circulação na área do pátio de estacionamento em velocidade baixa, ocasionando maior tempo de permanência da carga aplicada no pavimento a um dado ponto de sua superfície, corroborando para a ocorrência potencial de deformações permanentes por afundamento na trilha de roda dos veículos ao longo de suas trajetórias preferenciais.

De acordo com os dados apurados com a equipe da empresa onde realizou-se o estudo, os horários de pico, onde os ônibus estão em total circulação nos pátios, são entre 23h30min à 01h00min e 03h30min à 05h00min.

A quantificação do volume de tráfego circulante no pátio de estacionamento de ônibus ocorreu a partir de dados fornecidos pela empresa colaboradora deste trabalho.

Para o tráfego no pátio de estacionamento serão atribuídos 100% da movimentação de veículos do tipo ônibus (Figura 4.1), com 8,2 toneladas por eixo.



Figura 4.1 – Ônibus comercial presente em Joinville/SC.

#### 4.1.1. Determinação do Número de Operações do Eixo Padrão (N)

Utilizou-se como método de estudo do tráfego o cálculo do número N de repetições de cargas equivalentes, no qual consiste na obtenção do número equivalente de operações de um eixo padrão de 8,2 toneladas.

Para a determinação do número N de projeto, a Equação 4.1 é utilizada.

$$N = Vt \cdot Fv \cdot FR \quad (4.1)$$

Onde:

Vt - Volume total do tráfego para o período p de projeto em questão;

Fv - Fator de veículos;

FR - Fator climático regional.

A contagem do tráfego foi realizada a partir de informações cedidas pela empresa de ônibus, sendo atribuído um total de 180 veículos de linha circulando no pátio nos horários de pico. Devido os ônibus realizarem no pátio o ciclo de entrada, parada e por fim saída, somou-se um total de 360 veículos urbanos trafegando no pátio por dia.

Na empresa existem também veículos com função de fretamento, estes analisados de forma diferenciada, pois os horários, juntamente com a quantidade de entradas e saídas não são constantes. Atribuiu-se a passagem de 40 veículos por dia, o que equivalem a aproximadamente 10% do tráfego, informação esta concedida pela empresa de ônibus. Além destas informações, tem-se que a frota presente no pátio é renovada em três veículos por ano, resultando uma taxa de crescimento aritmético de 0,75%.

A contagem total do tráfego, juntamente com a taxa de crescimento e o período de projeto adotado encontram-se na Tabela 4.1.

**Tabela 4.1 – Contagem do tráfego.**

<b>Contagem do Tráfego (veic/dia)</b>	400
<b>Taxa de Crescimento Aritmético (%)</b>	0,75
<b>Período p de Projeto (anos)</b>	30

- Volume total do tráfego (Vt)

Para a obtenção do volume total do tráfego (Vt) em relação a um período de 30 anos de projeto, a Equação 4.2 é utilizada.

$$Vt = 365 \cdot p \cdot Vm \quad (4.2)$$

Onde:

- Vt - Volume total do tráfego para o período p de projeto em questão;
- p - Taxa de crescimento aritmética (%);
- Vm - Volume médio diário. (veic/dia).

O volume médio é calculado através da média entre o volume do tráfego atual ( $V_0$ ) e o volume do tráfego no ano  $p$  de projeto ( $V_p$ ), sendo  $V_p$  calculado a partir da consideração que o crescimento será realizado de forma linear (Equação 4.3).

$$V_p = V_0 \cdot (1 + p(t/100)) \quad (4.3)$$

Onde:

$V_p$  - Volume total do tráfego para o período  $p$  de projeto em questão;

$V_0$  - Volume do tráfego atual (veic/dia);

$P$  - Volume médio diário. (veic/dia);

$t$  - Taxa de Crescimento Aritmético (%).

Os valores de  $V_p$ ,  $V_m$  e  $V_t$  encontram-se na Tabela 4.2.

**Tabela 4.2 – Resultado  $V_p$ ,  $V_m$  e  $V_t$ .**

<b><math>V_p</math></b>	490 veic/dia
<b><math>V_m</math></b>	445 veic/dia
<b><math>V_t</math></b>	$5 \times 10^6$

- Fator de Veículo (FV)

O Fator de Veículo é calculado através do produto dos Fatores de Carga e de Eixo (Equação 4.4).

$$FV = FC \cdot FE \quad (4.4)$$

Onde:

FC - Fator de carga;

FE - Fator de eixo.

No Brasil são utilizados dois fatores para obtenção de equivalência de cargas, sendo eles os fatores do USACE (United States Army Corps of Engineers) e AASHTO (American Association of State).



DNER (1981) utiliza como fator de equivalência de cargas o método do USACE, pois este avalia os efeitos do carregamento na deformação permanente, sendo o mesmo utilizado para a obtenção do fator de carga (FC) neste trabalho.

As equações desenvolvidas pela USACE para o cálculo do FC encontram-se na Tabela 4.3

**Tabela 4.3 - Fatores de equivalência de carga do USACE (DNIT 2006).**

TIPO DE EIXO	FAIXA DE CARGAS (t)	EQUAÇÕES (P em tf)
<b>Dianteiro simples e traseiro simples</b>	0 - 8	$FC = 2,0782 \times 10^{-4} \times P^{4,0175}$
	$\geq 8$	$FC = 1,8320 \times 10^{-6} \times P^{6,2542}$
<b>Tandem duplo</b>	0 - 11	$FC = 1,592 \times 10^{-4} \times P^{3,472}$
	$\geq 11$	$FC = 1,528 \times 10^{-6} \times P^{5,484}$
<b>Tandem triplo</b>	0 - 18	$FC = 8,0359 \times 10^{-5} \times P^{3,3549}$
	$\geq 18$	$FC = 1,3229 \times 10^{-7} \times P^{5,5789}$
P = Peso bruto total sobre o eixo		

O fator de carga (FC) calculado encontra-se na Tabela 4.4, onde se utilizou a equação para eixo dianteiro e traseiro simples com cargas maiores ou iguais a 8,0 toneladas.

**Tabela 4.4 – Fator de carga (FC).**

Eixo Simples (t)	%	Fe	Equivalência	FC
8,2	100	0,95	95,08	<b>0,95</b>

O Fator de Eixo é determinado a partir da composição do tráfego, em função da percentagem de uma dada composição de eixos, considerando a distribuição percentual da composição obtida na contagem do tráfego (DNIT, 2006).

Como já mencionado anteriormente contabilizou-se apenas o tráfego dos ônibus (veículos com 1,0 eixo). A Tabela 4.5 demonstra o fator de eixo calculado do projeto.

**Tabela 4.5 – Fator de Eixo (FE).**

	%	FE	
Veículos com 1 eixos:	100	<b>1,0</b>	$FE_2 = (\%_2/100).1$
Veículos com 2 eixos:	0	<b>0,0</b>	$FE_3 = (\%_3/100).2$
Veículos com 3 eixos:	0	<b>0,0</b>	$FE_4 = (\%_4/100).3$
	<b>FE total =</b>	<b>1,0</b>	

Calculado os valores do fator de carga (FC) e fator de eixo (FE), é possível encontrar o fator de veículo (FV), a partir da Equação 4.4, correspondendo a  $FV = 0,95$ .

- Fator Climático Regional (FR)

O fator climático regional está relacionado com a média anual de chuva em milímetros presente na região estudada, variando de 0,7, quando a média de chuva/ano é  $\leq 800\text{mm}$ , até 1,8 quando a média é  $\geq 1500\text{mm}$  de chuva/ano.

No Brasil, o fator climático regional é adotado como 1,0 para todas as regiões.

- Cálculo do Número “N”

O número equivalente de operações do eixo-padrão é finalmente calculado, uma vez que os valores de volume total do tráfego juntamente com os fatores de veículos e climático regional já são conhecidos.

A partir da Equação 4.1, encontra-se o número N de repetições de cargas equivalentes do pátio de estacionamento, resultando em  $N = 5,0 \times 10^6$ , considerando a partir de então, como um tráfego meio-pesado.

## **4.2. COMPOSIÇÃO DA ESTRUTURA DO PAVIMENTO**

As camadas que constituem o pavimento dimensionado foram concebidas a partir da análise das peculiaridades imposta pelo tráfego, juntamente com as condições geotécnicas dos solos de subleito presente no pátio de estacionamento (Figura 3.1), em que para uma adequada dissipação das cargas solicitantes, foram previstas as camadas de revestimento em PPC, de areia de assentamento, de base, sub-base e reforço de subleito.

### 4.2.1. Revestimento

Como revestimento para o projeto, empregou-se peças de concreto pré-moldado do tipo 1, segmentadas em “S” (PAVI-S).

A utilização desse tipo de peça intertravada ocorreu pelo fato do PAVI-S possuir vantagens adicionais em relação aos outros sistemas, uma vez que seu formato em “S” provoca uma melhor distribuição de cargas, não permitindo deslocamentos (MACIEL, 2007).

As espessuras e resistências mínimas das peças são determinadas a partir de leitura direta da Tabela 2.4, preconizada por (ABCP, 2009), em razão do número “N” de projeto. São necessários para o projeto peças com espessuras de 8,0cm e resistência à compressão simples de 35MPa.

As peças segmentadas em S com espessura de 8,0cm provenientes da empresa A, possuem resistência a compressão de 39MPa (Tabela 3.16), portanto o material pode ser utilizado no revestimento para a execução do projeto.

O arranjo a ser executado o revestimento é o espinha-de-peixe, sua escolha ocorreu devido às vantagens no intertravamento do pavimento, melhorando as distribuições das cargas e minimizando riscos de deslocamentos. A Figura 4.2 demonstra o arranjo espinha de peixe.



Figura 4.2 – Arranjo espinha de peixe em bloco PAVI-S (LUNARDI, 2007).

#### **4.2.2. Areia de Assentamento**

A areia que apresentou melhores resultados para utilização como assentamento do pavimento foi à areia de reciclagem mista (ARM), sendo esta a escolhida para ser empregada no projeto de pavimentação do pátio de estacionamento de ônibus.

Empregou-se como solução, uma camada de 7,0cm na condição não compactada, com a intenção de obter uma espessura de 4,0cm a 5,0cm após compactação das peças pré-moldadas.

ABCP (2010) recomenda para camadas de assentamento espessuras de 3,0cm a 4,0cm após compactação, no entanto, cabe esclarecer que espessuras demasiadamente esbeltas provocam a ruptura das peças pela carga solicitada.

#### **4.2.3. Subleito, Reforço do Subleito, Sub-base e Base**

Através do inventário de ocorrências, realizou-se um estudo em diversos materiais com o propósito de verificar se estes estão aptos para a utilização nas camadas do pavimento. As normatizações utilizadas para averiguação das camadas de reforço, base e sub-base foram as preconizadas por DNIT (2010), sendo elas:

- DNIT 141/2010 – Base estabilizada granulometricamente;
- DNIT 139/2010 – Sub-base estabilizada granulometricamente;
- DNIT 138/2010 – Reforço do subleito;

Os materiais utilizados nas camadas de reforço, sub-base e base foram determinados a partir da verificação das normatizações, sendo todos pertencendo à jazida “A”, com exceção da areia de descarte de fundição, proveniente da empresa “B”, utilizada como adição para redução da expansibilidade de solos argilosos.

No reforço de subleito, utilizou-se a mistura de solo argiloso com 50% de areia descartada de fundição, a escolha desse material é vantajosa tecnicamente, minimizando os riscos de deformações permanentes causados pela conformação das partículas geradas pelo tráfego, aliados a vantagem econômica da mistura.

A adição da ADF minimizou a expansão natural do solo argiloso a um valor de 0,35%, logo, sendo aceito para utilização no reforço.

A normatização DNIT-ES 138 (2010), referente às condições de execução de reforço do subleito, não menciona medidas específicas sobre a granulometria do material a ser utilizado no reforço do subleito.

Para a camada de sub-base estabeleceu-se a utilização do saibro arenoso, pois apresenta características geotécnicas satisfatórias para aplicação nestas condições (Tabela 4.6), sendo importante ressaltar que o índice de desgaste está de acordo com o normatizado, visto que esse fator atua de forma significativa na qualidade do material.

No caso da normatização DNIT-ES 139 (2010) que delinea as condições de execução da camada de sub-base, estabelece em relação à granulometria do material exclusivamente que a fração retida na peneira n° 10 necessita ser constituída de partículas duras, isenta de fragmentos moles, material orgânico ou outras substâncias prejudiciais. Ao efetuar o peneiramento para realização do ensaio  $ID_m$  constatou-se que as partículas retidas na peneira n° 10 satisfazem o estabelecido por DNIT (2010).

Logo, reitera-se que as normas DNIT-ES 138 (2010) e DNIT-ES 139 (2010), não especificam qualquer tipo de curva granulométrica a ser obtida tanto para os materiais de reforço do subleito quanto para a camada de sub-base. Por esta razão, a análise granulométrica dos materiais utilizados como solução de pavimentação para as camadas citadas não foi objeto de estudo neste trabalho.

Utilizou-se a brita graduada simples (BGS) pertencente à faixa granulométrica “A” do DNIT (2010) na camada de base do pavimento. Sua aplicação ocorreu pelo fato da faixa granulométrica ser descontínua, resultando em uma camada estável.

Não havia disponibilidade de ocorrência de solo natural na região de abrangência do estudo que apresentasse capacidade de suporte compatível com as exigências requeridas para camadas de base ( $CBR \geq 80\%$  expansão  $\leq 0,5\%$ ). Ainda realizar tratamentos ou melhoramentos da capacidade de suporte de solos naturais com aditivos ou adições (cal virgem, cal hidratada CH-1 e cimento, por exemplo) tornam o procedimento técnico da obra mais custoso e podem inviabilizá-la.

Na Tabela 4.6 é possível a visualização de um resumo dos valores de CBR e Expansão dos materiais que constituirão as camadas de reforço, sub-base e base. Os valores normativos do DNIT (2010) juntamente com os dados do solo de subleito também podem ser vistos na Tabela 4.6.

Tabela 4.6 - Classificação das camadas.

Material	Camada	CBR	Expansão	DNIT (2010)	
				CBR	Expansão
<b>Brita Graduada Simples Faixa A</b>	Base	100%	0%	≥ 80%	≤ 0,5%
<b>Saibro Arenoso</b>	Sub-base	35%	0,09%	≥ 20%	≤ 1%
<b>Solo Argiloso com adição de 50% de areia de fundição</b>	Reforço do subleito	12%	0,35%	≥ CBR subleito	≤ 1%
<b>Subleito (Solo 1)</b>	Subleito	7%	3,11%	≥ 2%	≤ 2%
<b>Subleito (Solo 2)</b>	Subleito	< 2%	> 2%	≥ 2%	≤ 2%

Ambos os solos de subleito presente nos pátios do estacionamento da empresa estudada não estão em congruência com o normatizado pelo DNIT (2010), necessitando prever a melhoria desses solos.

No pátio 1, em função das problemáticas descritas no tópico 3.3.1, foi adotado o mesmo tipo de solução descrito para o solo de reforço do subleito, por apresentar as mesmas características de expansibilidade (elevada, 3,11% - Tabela 4.6) e de natureza do solo de fundação, ou seja de aspecto argiloso.

No pátio 2, a circunstância é mais drástica em relação ao solo de subleito, dado que o solo presente no local consiste em uma espessa camada de argila com baixa capacidade de suporte.

Como recomendação de solução para a melhoria da capacidade de suporte do solo de fundação, necessita-se remover os 60,0cm superficiais na área de abrangência do pátio 2, substituindo-o pelo solo excedente escavado do subleito presente no pátio 1, conforme previsto nas recomendações normativas do DNIT (2006).

No entanto, reitera-se a necessidade de ser executado tratamento prévio para redução de sua expansibilidade com a adição de 50% de areia descartada de fundição (ADF). O valor do CBR adotado para o projeto de dimensionamento diz respeito à referência do solo de empréstimo, adotando-se CBR = 7,0%, acarretando na mesma solução de dimensionamento para ambos os pátios, facilitando assim o processo executivo de pavimentação.

### 4.3. MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO

No projeto de dimensionamento do pavimento para o pátio de estacionamento de ônibus foram utilizados os métodos da ABCP (1999) - Estudo Técnico n° 27 juntamente com algumas diretrizes do estudo de COOK (1996), uma vez que o método preconizado pela ABCP (2010) não especifica espessuras de reforço de subleito.

COOK (1996) define espessuras fixas para a referida camada, porém, até o valor máximo de 4,0% relacionado ao CBR do solo correspondente ao subleito.

Para o conhecimento de um parâmetro de projeto referente à espessura da camada de reforço para o pavimento estudado, procedeu-se à interpolação dos valores indicados no trabalho de COOK (1996), pois apesar do CBR do terreno natural ter apresentado valor de 7,0%, a umidade local aliada a expansão natural do material e o tráfego a velocidades lentas e com muitas zonas de manobras, pode conduzir o terreno natural a deformações precoces, necessitando assim de uma camada de reforço que atenua a propagação das tensões aplicadas pelo tráfego sobre a camada final de terraplenagem.

A partir de leitura direta e realização da interpolação do fluxograma proposto (Figura 2.13), obteve-se o resultado de 10,0cm de espessura para a camada de reforço do subleito. Porém, tem-se que de acordo com o DNIT (2006) nenhuma camada finalmente compactada pode apresentar espessura menor que 15,0cm. Portanto, seguindo esta diretriz normativa, adotou-se a espessura de 15,0cm para a execução da camada de reforço do subleito.

A espessura da camada de sub-base foi estabelecida através do método de dimensionamento para pavimento intertravado, ABCP (1999) – Estudo técnico n° 27, o método atua relacionando o número “N”, com o CBR do subleito através de um ábaco (Figura 2.9). A partir da leitura direta do referido ábaco, obteve-se o resultado de 15,0cm de espessura final da sub-base.

O método da ABCP (1999) para pavimentos intertravados preconiza como solução de projeto, para tráfegos com  $N \geq 5 \times 10^5$  a utilização de base cimentada, contudo pelos motivos técnicos em relação à retração térmica e à retração volumétrica durante a fase de cura do cimento e em função da baixa resistência à tração na flexão dos materiais semi-rígidos que tendem a apresentar problemas de trincamento na fibra inferior da camada de base, a utilização de base cimentada foi

descartada da solução do projeto de dimensionamento, optando pela utilização de base granular.

Para soluções com camada de base constituída de material granular e tráfego a partir de  $N \geq 5,0 \times 10^5$ , utiliza-se as mesmas condições previstas para o dimensionamento de pavimentos de concreto asfáltico, preconizados no Manual de Pavimentação do DNIT (2006), adotando assim, a espessura mínima de 15,0cm de base granular como solução da espessura de base da pavimentação.

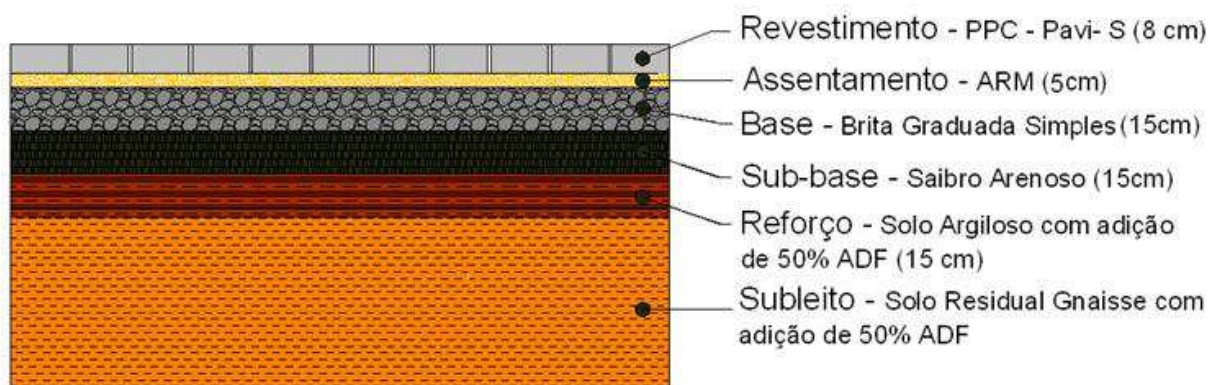
#### 4.4. SOLUÇÃO FINAL DE PAVIMENTAÇÃO

Com os materiais e espessuras definidos no dimensionamento do pavimento, a solução final de pavimentação foi estabelecida.

É importante ressaltar a necessidade de uma eficiente contenção lateral no local da intervenção do pavimento (meios-fios), impedindo o deslocamento das peças e garantindo o intertravamento destas peças.

As juntas entre peças necessitam estar com uma distância de  $3\text{mm} \pm 0,5\text{mm}$ , contribuindo juntamente com a areia de selagem (areia fina), no bom funcionamento do pavimento, garantindo o intertravamento.

A solução final com os materiais e espessuras definidas em projeto encontram-se na Figura 4.3.



**Figura 4.3 – Solução final de pavimentação do projeto.**



## CAPÍTULO 5

### CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O trabalho executado cumpriu com os objetivos gerais e específicos aos quais se propôs a realizar.

O estudo aplicado conduzido no pátio de estacionamento de ônibus localizado no município de Joinville-SC permitiu a demonstração de diversos defeitos oriundos da utilização de uma solução inadequada de dimensionamento de uma estrutura de pavimento, como afundamentos localizados e nas trilhas de roda, deslocamentos vertical (degraus), horizontal (em áreas de frenagens) e rotacional (em áreas de manobras), corroborando a importância de um projeto concebido adequadamente.

A escolha e estudo dos materiais constituintes da solução do pavimento são fatores que afetam diretamente na qualidade da estrutura projetada. Estes foram escolhidos e analisados a partir de ensaios laboratoriais e de campo, com o intuito de enquadrá-los às normatizações e recomendações vigentes, para compor uma solução técnica e estruturalmente eficiente.

A adição da areia descartada de fundição (ADF), dosada na proporção de 50%, referentes à composição do tratamento do solo do subleito do pátio 1, o qual também foi previsto como solução na substituição dos últimos 60,0cm do solo do subleito do pátio 2; e no tratamento executado em laboratório no solo especificado para as camadas de reforço dos pátios 1 e 2, demonstrou ser eficiente na redução da expansibilidade natural dos materiais mencionados, reduzindo os percentuais a níveis abaixo do limite máximo admissível em norma, para as condições de dimensionamento de pavimentos, ressaltando a preocupação da solução de projeto em tornar a estrutura de pavimento apta a suportar os esforços provenientes de um tráfego de característica meio-pesado, e com constantes aplicações de esforços estáticos, quase estáticos e tangenciais.

Entretanto, a ADF não contribuiu de maneira significativa para o aumento da capacidade de suporte dos solos aos quais foi adicionada, indicando ser um material de categoria não pozolânica e inerte quando em contato com os solos estudados. Logo, com base nas condições disponíveis de ensaios executados e das observações efetuadas, tem-se que o decréscimo da expansibilidade observado nos solos estudados se deu mais por ocasião da diminuição da quantidade de materiais

argilosos na composição com ADF do que pela ativação de alguma propriedade química ou mesmo física deste último.

Quanto às metodologias de dimensionamento normalmente utilizadas no Brasil, observou-se um forte empirismo em suas concepções, em razão de não abrangerem todas as aplicabilidades possíveis da técnica estudada, tendo sido verificado que nem sempre apenas um método é suficiente para propiciar a concepção de dimensionamento necessária para a estrutura do pavimento, precisando ser utilizada mais de uma metodologia para alcançar o objetivo.

Além disso, entre as metodologias pesquisadas é possível constatar que são desenvolvidas para o atendimento principalmente de tráfegos com intensidade leve a meio-leve, havendo dificuldades para se estabelecer critérios para dimensionar estruturas de pavimento intertravado com peças pré-moldadas de concreto capazes de suportar tráfegos médios, pesados e muito pesados.

Logo, a estrutura de pavimento dimensionada neste trabalho representa não apenas as dificuldades encontradas na obtenção de critérios racionais de concepção de estruturas de pavimento, bem como a limitação das ocorrências de materiais disponíveis para esta pesquisa. Porém, diante das prerrogativas técnicas de resistências aos esforços mecânicos percorridos no decorrer do trabalho, constitui uma solução viável para suportar as cargas solicitantes de tráfegos lentos e sujeitos a procedimentos constantes de manobras como nos pátios de ônibus.

Como recomendações para trabalhos futuros, têm as seguintes proposições:

- Realizar estudos mais acurados de dosagem de areia descartada de fundição com o solo do subleito, para fins de definição do melhor teor a ser utilizado para enquadramento do solo nos limites especificados de expansão;
- Aprofundamento no estudo do desenvolvimento científico da metodologia de dimensionamento de pavimentos intertravados, visando torná-lo de cunho racional ao invés de empírico como se pode verificar nas metodologias disponíveis atualmente no Brasil, apresentadas neste trabalho.

## REFERÊNCIAS

ABCP - Associação Brasileira de Cimento Portland. **Estudo Técnico nº27: Pavimentação com peças pré-moldadas de concreto.** 4ª edição – São Paulo, SP, Brasil, 1999.

ABCP - Associação Brasileira de Cimento Portland. **Manual de Pavimento Intertravado: Passeio Público.** São Paulo, Brasil 2010.

ABEDA - Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Asfaltos. **Pavimentação Asfáltica – Formação Básica para Engenheiros.** Rio de Janeiro, 2010.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 9781/1987: Regularização do Subleito - Procedimento. Especificação.** São Paulo, SP, Brasil, 1987.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 12307 /1991: Peças de Concreto para Pavimentação. Especificação.** São Paulo, SP, Brasil, 1991.

ABRECON - Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição. Disponível em: <http://www.abrecon.org.br/>. Acesso em: Junho de 2015.

CARVALHO, M. D. **Pavimentação com Peças Pré-moldadas de Concreto, ET-27.** Associação Brasileira de Cimento Portland - ABCP, São Paulo, Brasil, 1998.

COOK, I. D, KNAPTON, J. **A Design Method for Lightly Trafficked and Pedestrian Pavements.** Fifth International Concrete Block Paving Conference, Tel-Aviv, Israel, 1996.

CRUZ, L. O. M. Pavimento **Intertravado de Concreto: Estudo dos Elementos e Métodos de Dimensionamento.** Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil, 2003.

DER/SP - Departamento de Estradas de Rodagem de São Paulo. **Manual de Normas – Pavimentação. Seção 3.06. Sub-bases e bases de brita graduada, tratado ou não com cimento.** São Paulo, SP, 1991.

DNER-ME 049/94. **Solos – Determinação do Índice de Suporte Califórnia Utilizando Amostras Trabalhadas.** Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Rio de Janeiro, RJ, 1994.

DNER-ME 162/94. **Solos – Ensaio de Compactação Utilizando Amostras Trabalhadas.** Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Rio de Janeiro, 1994.

DNER-ME 401/99. **Agregados – determinação do índice de degradação de rochas após compactação Marshall, com ligante – IDML e sem ligante – IDM.** Rio de Janeiro, 1999.

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura. **Manual de Pavimentação.** 3º Edição, Rio de Janeiro, Brasil, 2006.

DNIT-ES 138/2010. **Pavimentação - Reforço do Subleito.** Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes. Rio de Janeiro, 2010.

DNIT-ES 139/2010. **Pavimentação – Sub-base Estabilizada Granulometricamente.** Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes. Rio de Janeiro, 2010.

DNIT-ES 141/2010. **Pavimentação - Base Estabilizada Granulometricamente.** Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes. Rio de Janeiro (RJ), 2010.

FONTES, L. P. T. L. **Contribuição à Investigação Geotécnica de Vias Urbanas não Pavimentadas Através do Emprego do Penetrômetro Dinâmico de Cone.** Florianópolis, Brasil, 2001.

GODINHO, P. D. **Pavimento Intertravado: Uma Reflexão sob a Ótica da Durabilidade e Sustentabilidade.** Escola de Arquitetura da UFMG, Belo Horizonte, Brasil, 2009.

GUIDE TECHNIQUE. **Guide Technique pour l'utilisation des matériaux régionaux d'Ile-de-France – Les bétons et produits de démolition recyclés.** Direction régionale de l'Équipement et, al., décembre, 1996.

HALLACK, A. B. D. O. **Dimensionamento de Pavimentos com Revestimento de Peças Pré-Moldadas de Concreto para Áreas Portuárias e Industriais.** Tese de Mestrado, Universidade de São Paulo – Escola Politécnica, São Paulo, Brasil, 1998.

IP-06/2004. **Dimensionamento de Pavimentos com Blocos Intertravados de Concreto.** São Paulo 2004.

KLINSKY, L. M. G. **Proposta de reaproveitamento de areia de fundição em sub-bases e bases de pavimentos flexíveis, através de sua incorporação a solos argilosos.** Escola Engenharia de São Carlos, USP, São Carlos, Brasil, 2008.

MACIEL, A. B. **Dossiê Técnico – Pavimentos Intertravados.** Escola de Educação Profissional SENAI, Santa Rosa, Brasil, 2007.

MANZATO, G. G. **Introdução a Pavimentação.** Departamento de Engenharia Civil, UNESP, São Paulo, Brasil, 2014.

MARCHIONI, L. M. **Desenvolvimento de Técnicas para Caracterização de Concreto Seco Utilizado na Fabricação de Peças de Concreto Para Pavimentação Intertravada.** Departamento de Engenharia de Construção Civil da EPUSP, São Paulo, Brasil, 2012.

MORAES, R. B. M ; SILVA, E. **Estudo da Arte do Pavimento Rígido - Durabilidade, Economia e Segurança.** Centro Universitário de Fundação Educacional de Barretos (UNIFEB), Barretos, São Paulo, 2009.

MOMM, L. **Estudo dos Efeitos da Granulometria Sobre a Macrotextura Superficial do Concreto Asfáltico e Seu Comportamento Mecânico.** Tese de Doutorado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP). São Paulo, 1998.

MOTTA, J.F; LUZ; A.B; BECERRA, M. **Argila para Cerâmica Branca.** Rio de Janeiro, 2008.

MULLER, R.M. **Avaliação de Transmissão de Esforços em Pavimentos Intertravados de Blocos de Concreto.** Dissertação de Mestrado, Sc. COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil 2005.

NILSSON, T. **DPL para Taludes.** COBRAE, São Paulo Brasil, 2009.

PELTIER , R. **Manuel Du Laboratoire Routier.** 3ª Edição, Dunot, Paris, 1996.

PEREIRA, M. P. **Estudo do Comportamento à Expansão de Materiais Sedimentares da Formação Guabirotuba em Ensaios com Sucção Controlada.** Escola Engenharia de São Carlos, USP, São Carlos, Brasil, 2004.

PEREIRA, T. C. **Uma Contribuição para a Determinação de Propriedades Físicas e Mecânicas de Materiais Granulares Compactos, com Recurso a Penetrómetro Dinâmico.** Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2010.

PREUSSLER, L. **Contribuição ao estudo da deformabilidade de camadas do Pavimento.** Escola Politécnica de São Paulo, São Paulo, Brasil, 2007.

SENÇO, W. **Manual de Técnicas de Pavimentação.** Editora Pini, Volume 2, 2ªEdição, São Paulo, Brasil, 2001.

SENÇO, W. **Manual de Técnicas de Pavimentação.** Editora Pini, Volume 1, 2ªEdição, São Paulo, Brasil, 2007.

SHACKEL, B. **Design and Construction of Interlocking Concrete Block Pavement.** 1<sup>st</sup> Edition. Elsevier, New York and London, 1990.