

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO  
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

**THAÍS LETÍCIA PINTO TORRES**

**PAVIMENTO COM BLOCOS INTERTRAVADOS DE CONCRETO: da fabricação à  
execução – Estudo de casos em São Luís/MA**

SÃO LUÍS

2017

**THAÍS LETÍCIA PINTO TORRES**

**PAVIMENTO COM BLOCOS INTERTRAVADOS DE CONCRETO: da fabricação à  
execução – Estudo de casos em São Luís/MA**

Monografia apresentada à Coordenação do Curso de Engenharia Civil da Universidade Estadual do Maranhão – UEMA, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Walter Canales Sant'Ana

São Luís  
2017

Torres, Thais Leticia Pinto.

Pavimento com blocos intertravados de concreto: da fabricação à execução – estudo de casos em São Luís / MA / Thais Leticia Pinto Torres. – São Luís, 2017.

123 f.

Monografia (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual do Maranhão, 2017.

Orientador: Prof. Dr. Walter Canales Santana.

1. Pavimento intertravado. 2. *Paver*. 3. Blocos de concreto. I. Título.

CDU 625.821.5(812.1)  
Pavimento com blocos intertravados de concreto: da fabricação à execução – estudo de casos em São Luís / MA

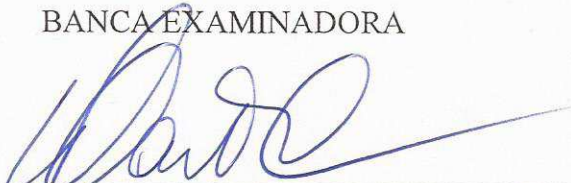
THAIS LETICIA PINTO TORRES

**PAVIMENTO COM BLOCOS INTERTRAVADOS DE CONCRETO: da fabricação à execução – Estudo de casos em São Luís/MA**

Monografia apresentada à Coordenação do Curso de Engenharia Civil da Universidade Estadual do Maranhão – UEMA, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovada em: \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_

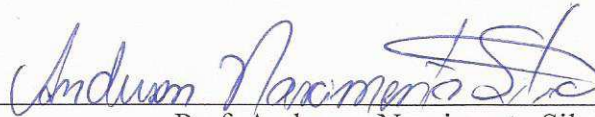
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Walter Canales Sant'Ana – Orientador  
Presidente



Prof.ª Dr.ª Maria Teresinha de Medeiros Coelho  
Membro



Prof. Anderson Nascimento Silva  
Membro

Conceito Final: \_\_\_\_\_



## AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus por ter me dado a vida, por todas as graças alcançadas e por sempre abençoar os meus caminhos.

Aos meus pais, José Rivaldo Alves Torres e Mônica de Jesus Viana Pinto, por todo esforço e incentivo durante toda a minha vida. Vocês são meus maiores exemplos!

Ao meu irmão Thiago e a todos os meus familiares pelo carinho que sempre tiveram comigo e por sempre confiarem no meu potencial.

Ao meu namorado João Luís pelo companheirismo, amizade, compreensão e apoio durante todos estes anos.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Walter, por todo ensinamento e orientação durante os anos de pesquisa de iniciação científica e monografia.

Aos meus amigos Vanessa, Raissa, Guilherme, Daniel, Igor Vinicius, Klailson, Lucas, João Luís, Gabriel, Glauber e Igor Marcelo pela amizade e por todo conhecimento compartilhado ao longo desses 5 anos de faculdade, nos quais dividimos momentos de cansaço e frustração, mas também de muita alegria!

Aos colegas de turma e a todos aqueles que contribuíram direta ou indiretamente na minha formação, em especial ao amigo Erikson por toda ajuda nessa reta final de tardes no laboratório.

Às minhas amigas Ana, Ari, Hi, Isa, Jorda, Jully, Ju, Kinha, Paulinha, Rosa e Thata por todos os conselhos durante essa jornada e por sempre me ouvirem e estimularem nos momentos difíceis.

Aos colegas Rodrigo e Márcia e aos laboratoristas Teodoro e Jurandir por toda ajuda na realização dos ensaios.

À todos meus professores desde o ensino fundamental ao ensino superior, por toda dedicação e conhecimento passado.

Obrigada a todos, essa conquista é nossa!

*“O sucesso é a soma de pequenos esforços - repetidos dia sim, e no outro dia também”.*

Robert Collier

## RESUMO

O pavimento intertravado, apesar de bastante utilizado, na maioria dos casos não recebe acompanhamento técnico adequado, tanto na fabricação das peças quanto na execução do pavimento. O objetivo deste trabalho é analisar e acompanhar o processo de fabricação e execução de pavimentos com blocos intertravados, bem como propor um dimensionamento para um caso real. Para tal, foram realizados ensaios tecnológicos nos agregados utilizados na confecção das peças pré-moldadas de concreto e ensaios de aceitação dos *pavers*. Foi realizado o acompanhamento da obra na qual o lote ensaiado foi utilizado, observando-se todas as etapas e as técnicas utilizadas. Para o dimensionamento, foi feito um estudo de caso no estacionamento do Laboratório Multiusuários da Pós-Graduação, no campus Paulo VI da Universidade Estadual do Maranhão, no qual foi estudado o solo do subleito para o dimensionamento do pavimento, resultando em uma estrutura com *paver* de 6 cm, colchão de areia de 4 cm e sub-base de 15 cm. Os resultados obtidos nos ensaios dos agregados foram completamente satisfatórios somente para a areia. O pó de brita e a brita não atenderam alguns dos requisitos estabelecidos. No acompanhamento da obra, foram observadas patologias no pavimento, além de elementos executados de maneira não conforme à norma.

Palavras-chave: Pavimento intertravado. *Paver*. Blocos de concreto.

## **ABSTRACT**

The interlocking concrete pavement, although widely used, in most cases does not receive adequate technical monitoring, whether in the fabrication of the spare parts or in the execution of the pavement. The objective of this work is to analyze and follow the process of fabrication and execution of concrete pavements with interlocking blocks, as well as to propose a design for a real case. To this goal, technological tests were carried out on the aggregates used in the preparation of precast concrete parts, as well as acceptance tests of pavers. The job site where the test lot was applied was monitored, observing all the stages and the techniques used in the execution. For the design, a case study was performed in the parking lot of the Post-Graduation Multiusers Laboratory, at Paulo VI campus of the State University of Maranhão, where the soil of the subgrade was studied for the pavement design, resulting in a structure with concrete paver with thickness of 6 cm, a bedding sand of 4 cm and sub-base layer of 15 cm. The results obtained in the tests of the aggregates were completely satisfactory only for the sand. The gravel powder and the gravel did not fit some of the established requirements. In the attendance in the job site during the execution of the procedure, pathologies were observed in the pavement, besides elements performed in a way that did not conform to the norm.

**Keywords:** Interlocking concrete pavement. Paver. Concrete blocks.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Via Ápia (Itália).....	19
Figura 2 - Caminho Inca a Machu Picchu .....	19
Figura 3 - Caminho do Ouro em Paraty (RJ) .....	20
Figura 4 - Exemplo de peças de concreto.....	21
Figura 5 - Modelos de peças pré-moldadas de concreto para pavimentação .....	22
Figura 6 - <i>Pavers</i> drenantes .....	23
Figura 7 - <i>Paver</i> dupla capa.....	24
Figura 8 - PPC coloridas.....	24
Figura 9 - Calçada com <i>paver</i> mesclado .....	24
Figura 10 - Estacionamento com <i>paver</i> ecológico .....	25
Figura 11 - <i>Paver</i> permeável .....	25
Figura 12 - Baías de agregados.....	29
Figura 13 - Estocagem de Cimento .....	29
Figura 14 - Silo de armazenamento de cimento à granel .....	30
Figura 15 - Silo rasga saco .....	30
Figura 16 - Giricas para medição de volume dos agregados.....	31
Figura 17 - Misturador.....	32
Figura 18 - Vibroprensa.....	33
Figura 19 - PPC na câmara de cura .....	34
Figura 20 - Pátio de Armazenamento.....	34
Figura 21 - Peças organizadas sobre paletes .....	35
Figura 22 - Esquema de uma seção intertravada de peças de concreto.....	37
Figura 23 - Tipos de deslocamento do bloco.....	40
Figura 24 - Arranjo dos pavimentos intertravados de concreto pré-moldado .....	41
Figura 25 - Escavação do solo.....	42
Figura 26 - Compactação do subleito .....	43
Figura 27 - Confinamento externo (meio fio) .....	44
Figura 28 - Pavimentadora automática de <i>paver</i> (1) .....	46
Figura 29 - Pavimentadora automática de <i>paver</i> (2) .....	46
Figura 30 - Assentamento manual das PPC .....	47
Figura 31 - Compactação dos blocos.....	48
Figura 32 - Rejunte com areia .....	48

Figura 33 - Conjunto de peneiras com fundo e tampa no agitador mecânico .....	51
Figura 34 - Amostras de areia e brita cobertas com água.....	54
Figura 35 - Amostra com carga abrasiva.....	59
Figura 36 - Máquina de abrasão a "Los Angeles" .....	59
Figura 37 - Realização do ensaio de densidade de agregados miúdos .....	61
Figura 38 - Recipiente com água e cesto zerados na balança.....	63
Figura 39 - Medição das PPC .....	64
Figura 40 - Realização do ensaio de Resistência à Compressão .....	65
Figura 41 - Corpos de prova sobre tela metálica .....	68
Figura 42 - Amostras de solo retidas nas peneiras 2,00 mm e 0,075 mm (respectivamente) ..	70
Figura 43 - Amostras de solo secas para caracterização granulométrica .....	70
Figura 44 - Preparação para o ensaio.....	71
Figura 45 - Moldagem dos cilindros .....	72
Figura 46 - Realização do ensaio de Limite de Liquidez .....	73
Figura 47 - Mistura da amostra com água .....	75
Figura 48 - Compactação da amostra .....	75
Figura 49 - Rasamento do corpo de prova.....	76
Figura 50 - Corpo de prova imerso no tanque .....	77
Figura 51 - Realização do ensaio na prensa automática.....	77
Figura 52 - Gráfico do efeito relativo de diversas cargas por eixo simples .....	79
Figura 53 - Gráfico da espessura necessária de sub-base.....	80
Figura 54 - Gráfico da espessura necessária de base (concreto rolado ou solo-cimento) .....	81
Figura 55 – Pavimento com desgaste superficial .....	82
Figura 56 - Pavimento com desgaste superficial – juntas preenchidas com argamassa.....	83
Figura 57 - Peças observadas no ensaio de inspeção visual.....	90
Figura 58 - Vista lateral de uma das PPC utilizadas no ensaio de inspeção visual.....	91
Figura 59 – Retirada das PPC.....	93
Figura 60 – Compactação do pavimento .....	93
Figura 61 – Umedecimento das peças .....	94
Figura 62 – Argamassa aplicada para preenchimento das juntas .....	94
Figura 63 – Compactação final.....	95
Figura 64 – Confinamento externo.....	95
Figura 65 – Confinamento interno .....	96
Figura 66 - Seção transversal do pavimento dimensionado .....	103

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Faixa granulométrica recomendada para a camada de assentamento (areia) das peças .....	39
Tabela 2 - Massa mínima por amostra de ensaio.....	50
Tabela 3 - Limites de distribuição granulométrica do agregado miúdo .....	51
Tabela 4 - Limites da composição granulométrica do agregado graúdo.....	52
Tabela 5 - Intervalos granulométricos e massas mínimas de amostra para o ensaio e peneiras para remoção das partículas de argila e materiais friáveis .....	54
Tabela 6 - Massa mínima da amostra de ensaio .....	55
Tabela 7 - Quantidade mínima de material para ensaio .....	56
Tabela 8 - Graduação pra ensaio de abrasão à "Los Angeles" .....	58
Tabela 9 - Massa mínima de amostra de ensaio para determinação da massa específica dos agregados graúdos .....	62
Tabela 10 - Fator multiplicativo $p$ .....	66
Tabela 11 - Coeficiente de Student (nível de confiança de 80%) .....	67
Tabela 12 – Granulometria da areia .....	83
Tabela 13 – Granulometria do pó de brita.....	84
Tabela 14 – Resumo da granulometria da brita.....	85
Tabela 15 - Resultado do teor de argila para areia .....	86
Tabela 16 - Resultado do teor de argila para pó de brita.....	87
Tabela 17 - Resultado do teor de argila para brita.....	87
Tabela 18 - Resultado do ensaio de materiais mais finos que passam na peneira 75 $\mu\text{m}$ .....	88
Tabela 19 - Avaliação dimensional das PPC.....	90
Tabela 20 - Resumo da resistência à compressão.....	91
Tabela 21 - Resultado do ensaio de absorção de água .....	92
Tabela 22 - Resumo da granulometria do solo.....	98
Tabela 23 - Detemrinação do Limite de Plasticidade (LP) .....	99
Tabela 25 - Resultados do limite de liquidez (LL).....	100

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Curva granulométrica da Areia .....	84
Gráfico 2 - Curva granulométrica do pó de brita.....	85
Gráfico 3 - Curva granulométrica da brita.....	86
Gráfico 4 - Curva granulométrica do solo .....	99
Gráfico 5 - Limite de liquidez .....	100
Gráfico 6 - Curva de compactação do solo.....	101
Gráfico 7 – Umidade x CBR .....	102
Gráfico 8 – Umidade x Expansão.....	102



## LISTA DE SIGLAS

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

CBR - *California Bearing Ratio*

CP – Corpo de Prova

DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes

ICPI - *Interlocking Concrete Pavement Institute*

IP – Índice de Plasticidade

ISC – Índice de Suporte Califórnia

LL – Limite de Liquidez

LP – Limite de Plasticidade

PCP – Peças de Concreto Pré-moldadas

PPC – Peças Pré-moldadas de Concreto

UEMA – Universidade Estadual do Maranhão

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	15
1.1 Considerações iniciais .....	15
1.2 Objetivos.....	16
1.2.1 Geral .....	16
1.2.2 Específicos.....	16
1.3 Organização do trabalho.....	16
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	18
2.1 Breve Histórico do pavimento intertravado de concreto .....	18
2.2 Blocos pré-moldados de concreto para pavimentação .....	21
2.2.1 Tipos .....	21
2.2.2 Materiais .....	26
2.2.3 Processos produtivos .....	28
2.3 Pavimento com blocos intertravados de concreto .....	35
2.3.1 Características.....	35
2.3.2 Estrutura .....	36
2.3.3 Dimensionamento.....	41
2.3.4 Execução.....	42
3 METODOLOGIA.....	49
3.1 Ensaios dos agregados para fabricação de peças de concreto .....	49
3.1.1 Granulometria.....	49
3.1.2 Substâncias nocivas .....	52
3.1.3 Índice de forma dos grãos de agregado graúdos.....	56
3.1.4 Desgaste.....	57
3.1.5 Ensaios especiais .....	60
3.2 Ensaios de aceitação das peças de concreto .....	63
3.2.1 Dimensões e tolerâncias .....	63

3.2.2 Aspectos gerais .....	64
3.2.3 Resistência à compressão .....	65
3.2.4 Absorção de água .....	67
3.2.5 Resistência à abrasão .....	68
3.3 Dimensionamento do pavimento intertravado.....	69
3.3.1 Caracterização do solo do subleito .....	69
3.3.2 Classificação do solo .....	78
3.3.3 Método de dimensionamento .....	78
4 ACOMPANHAMENTO DA FABRICAÇÃO E ASSENTAMENTO DE <i>PAVERS</i> .....	82
4.1 Fabricação das peças .....	83
4.1.1 Ensaio nos agregados constituintes das PPC .....	83
4.1.2 Ensaio para aceitação das peças de concreto .....	89
4.2 Execução do pavimento intertravado .....	92
4.3 Discussões sobre o caso.....	96
5 DIMENSIONAMENTO DO ESTACIONAMENTO DOS LABORATÓRIOS MULTIUSUÁRIOS DA PÓS GRADUAÇÃO – UEMA .....	98
5.1 Caracterização do solo do subleito .....	98
5.1.1 Granulometria.....	98
5.1.2 Limite de Plasticidade .....	99
5.1.3 Limite de Liquidez .....	99
5.1.4 Compactação .....	100
5.1.5 Índice de Suporte Califórnia (ISC) ou California Bearing Ratio (CBR).....	101
5.1.6 Classificação do solo .....	103
5.2 Dimensionamento do pavimento.....	103
5.3 Discussões sobre o caso.....	104
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	105
6.1 Fabricação.....	105

6.1.1 Materiais .....	105
6.1.2 Peças pré-fabricadas .....	105
6.2 Execução do pavimento.....	106
6.3 Dimensionamento.....	106
REFERÊNCIAS .....	107
APÊNDICE A – GRANULOMETRIA DA AREIA.....	111
APÊNDICE B – GRANULOMETRIA DO PÓ DE BRITA.....	112
APÊNDICE C – GRANULOMETRIA DA BRITA .....	113
APÊNDICE D – RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO – CURA DE 7 DIAS.....	114
APÊNDICE E – RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO – CURA DE 14 DIAS .....	114
APÊNDICE F – RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO – CURA DE 28 DIAS .....	114
APÊNDICE G – ANÁLISE E CURVA GRANULOMÉTRICA DO DOLO.....	115
APÊNDICE H – DADOS DA COMPACTAÇÃO DO SOLO .....	116
APÊNDICE I – DADOS DO CBR PARA UMIDADE 5,30%.....	117
APÊNDICE J – DADOS DO CBR PARA UMIDADE 6,63% .....	118
APÊNDICE K – DADOS DO CBR PARA UMIDADE 8,61% .....	119
APÊNDICE L – DADOS DO CBR PARA UMIDADE 10,99% .....	120
ANEXO A – TABELA DE CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS ( <i>TRANSPORTATION RESEARCH BOARD</i> ).....	122
ANEXO B – PLANTA DO ESTACIONAMENTO DOS LABORATÓRIOS MULTIUSUÁRIOS DA PÓS-GRADUAÇÃO .....	123

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Considerações iniciais

Segundo Shackel (1990 *apud* CRUZ, 2003, p. 6), a tecnologia de pavimentação com peças segmentadas é utilizada pelo homem desde a idade média, passando desde então por uma evolução em relação aos materiais utilizados. Os blocos intertravados de concreto sucedem materiais como tijolo de argila, pedras talhadas e blocos de tijolo de madeira.

Os blocos intertravados de concreto, também conhecidos como “*pavers*” ou “bloquetes”, são amplamente usados em calçadas, praças, pátios e jardins. Porém, segundo Cruz (2003, p. 44), a utilização deste tipo de pavimento também pode ser adotada em portos, aeroportos entre outros locais com solicitações de cargas pesadas.

Godinho (2009, p. 15) diz que o sucesso dos pavimentos de peças pré-moldadas de concreto (PPC) advém da combinação de três princípios importantes na pavimentação: estética, capacidade estrutural e integração com o ambiente.

Entre as vantagens do pavimento intertravado com PPC, menciona-se: facilidade e baixo custo de manutenção; desnecessidade do aguardo do tempo de cura; fácil assentamento; a mão de obra não necessita ser especializada; e fator estético, uma vez que pavimentos com bloquetes apresentam possibilidade de ordem estética (CARVALHO, 1998, p. 10).

A indústria de pré-fabricados é cada vez mais crescente, sendo os *pavers* um dos artefatos de concreto mais produzidos. Porém a qualidade técnica não cresce na mesma proporção, visto que geralmente os requisitos normativos não são cumpridos (CLEMENTINO et al., 2014, p. 14).

A metodologia utilizada para dimensionamento dos pavimentos intertravados de concreto pré-moldado é uma adaptação dos métodos de pavimentos flexíveis, uma vez que, segundo Cruz (2003, p. 27), eles se comportam de maneira parecida.

Mesmo que a execução deste tipo de pavimento seja bastante empregada, nota-se que, na maioria das vezes, ele é executado sem qualquer caráter técnico, inclusive sem a realização dos ensaios de caracterização dos materiais empregados. (WIEBBELLING, 2015, p. 11).

O controle tecnológico tanto dos *pavers* quanto dos materiais empregados nas camadas do pavimento, assim como seu dimensionamento, são de extrema importância para garantir o bom comportamento e a vida útil do pavimento. Além disso, para garantir o intertravamento entre as peças, as suas dimensões devem ser bem definidas.

A motivação do estudo em questão vem do fato de que apesar de ser bastante utilizado, o pavimento intertravado de concreto geralmente não tem um acompanhamento técnico adequado.

No presente trabalho, buscou-se um estudo sobre os pavimentos intertravados de concreto desde a fabricação dos blocos até a sua aplicação em campo, analisando-se os requisitos técnicos necessários em todas as etapas.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Geral**

Acompanhar a fabricação de blocos de concreto, a pavimentação em campo e dimensionamento.

### **1.2.2 Específicos**

- Realizar ensaios tecnológicos dos materiais utilizados na confecção dos blocos de concreto pré-moldados;
- Realizar ensaios exigíveis para aceitação das peças pré-moldadas para pavimentação;
- Acompanhar a aplicação em campo do lote ensaiado;
- Estudar um caso de dimensionamento de pavimento intertravado, realizando ensaios de caracterização do solo do subleito.

## **1.3 Organização do trabalho**

O capítulo 1 faz uma introdução do tema, apresentando os objetivos do trabalho e a sua divisão.

No capítulo 2 será apresentada a revisão bibliográfica sobre o assunto abordado, a qual foi realizada com pesquisa de bibliografia nacional e estrangeira em livros, artigos científicos, manuais e normas.

O capítulo 3 contém a metodologia utilizada no trabalho, apresentando: os procedimentos dos ensaios realizados; o método de execução do pavimento e a metodologia de dimensionamento empregada.

O capítulo 4 apresenta o estudo no qual foi acompanhada a fabricação de um lote de peças pré-moldadas de concreto para pavimentação, a sua aplicação em campo e as discussões acerca do caso.

O capítulo 5 apresenta o dimensionamento de um pavimento, no qual foi estudado o solo do seu subleito e proposto um dimensionamento.

No último capítulo (6), será feita a conclusão do estudo, apresentando, em síntese, todos os resultados obtidos.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Breve Histórico do pavimento intertravado de concreto

Segundo Bernucci et al. (2007, p. 11), as primeiras estradas pavimentadas no mundo eram destinadas a trenós para o transporte de cargas. Para o transporte de materiais utilizados na construção das pirâmides do Egito antigo, foram construídas vias de lajões justapostos, os quais eram constantemente umedecidos com água, azeite ou musgo molhado para amenizar o atrito, conforme Saunier (1993 *apud* BERNUCCI et al., 2007, p. 11).

Fernandes (2016, p. 18) diz que a origem dos pavimentos feito a partir de pedras justapostas, é atribuída aos povos da Ilha de Creta, na Grécia, por volta de 2.500 a.C. Nessa época, eram utilizadas pedras sobre camadas de areia, para facilitar a fixação e acomodação dos elementos, semelhante aos mecanismos atuais.

Dentre os povos antigos, as vias romanas são as mais conhecidas em referência a planejamento e construção viária. Há mais de 2.000 anos eles já possuíam uma boa malha viária, contando ainda com um sistema de planejamento e manutenção (BERNUCCI et al., 2007, p.11).

Os caminhos Romanos foram construídos de várias formas de acordo com sua importância e expectativa de utilização, disponibilidades locais de materiais para construção, clima e topografia. Os materiais utilizados como revestimento dos caminhos de longa distância eram geralmente constituídos por solos arenosos misturados a pedras naturais do tipo seixos rolados. Pedras talhadas manualmente nas formas retangulares e poligonais eram utilizadas nos revestimentos das ruas mais utilizadas das cidades (CRUZ, 2003, p. 5).

Cruz (2003, p. 6) diz ainda que os romanos já se preocupavam com a estrutura do pavimento, composta por várias camadas, assim como a drenagem. Eles já tinham também conhecimento sobre o tipo de areia utilizada na construção das vias.

A Via Ápia (Figura 1) é uma das vias romanas mais famosas. Segundo Fernandes (2016, p. 18), ela tem 600 km de extensão, cruzando a Itália desde Roma até Brindisi, no sul do país.



**Figura 1 - Via Ápia (Itália)**



Fonte: Fernandes (2016, p. 18)

Na América Latina, as estradas construídas pelos incas merecem ressaltar. Esta civilização construiu um sistema de estradas que engloba terras da Colômbia, Chile e Argentina, incluindo florestas, áreas do litoral e até mesmo a Cordilheira dos Andes (BERNUCCI, 2007, p. 16). A Figura 2 mostra uma parte do caminho Inca.

**Figura 2 - Caminho Inca a Machu Picchu**



Fonte: <http://ingressomachupicchu.com/trilha-inca-a-machu-picchu/> (Acessado em 30/09/2017)

Conforme Fernandes (2016, p. 18), no Brasil, a técnica dos pavimentos com pedras justapostas foi utilizada primeiramente pelos índios nos caminhos de Peabiru de São Thomé, sendo estas trilhas indígenas que interligavam aldeias no litoral sul do Brasil a outras aldeias na Bolívia e no Peru.

O Caminho do Ouro (Figura 3), via bastante conhecida na história do Brasil, tem sua origem atribuída também aos índios. Ela foi construída pela trilha que os índios goianás haviam construído antes da chegada dos portugueses. Esta via, que liga Ouro Preto (MG) a Paraty (RJ), foi calçada em pedras para o transporte de ouro no século XVII e melhorada para o transporte de café no século XIX (BERNUCCI, 2007, p.17).

**Figura 3 - Caminho do Ouro em Paraty (RJ)**



Fonte: <http://www.paratyours.com.br/pt-BR/passeios/ecologico/caminho-do-ouro/> (Acessado em 30/09/2017)

Ao passar dos anos, com o aumento das atividades mercantis, os tipos de carga foram se modificando, exigindo cada vez mais vias que suportassem maiores cargas. Com isso, os tipos de revestimento foram evoluindo, adaptando-se às novas exigências. O processo evolutivo das peças segmentadas para pavimentação passaram das pedras para blocos de tijolos de argila, pedras talhadas, blocos de tijolos de madeira e, por fim, as peças pré-moldadas de concreto (CRUZ, 2003, p. 7).

Fernandes (2016, p. 19) afirma que as PPC foram patenteadas por Fritz Von Langsdorff, em 1960, na Alemanha, país onde fica a primeira cidade pavimentada com *paver* no mundo: Stuttgart. Em pouco tempo, a técnica se expandiu pela Europa e Ásia. O autor diz ainda que a Alemanha é, atualmente, o maior produtor das PPC, com mais de 200 milhões de metros quadrados produzidos por ano.

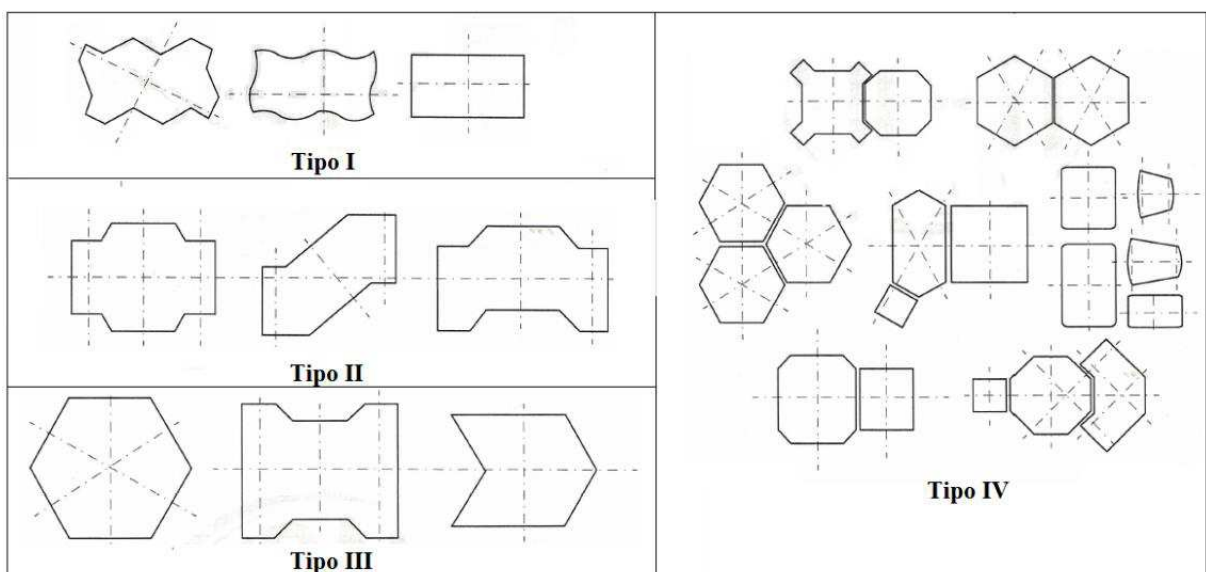
## 2.2 Blocos pré-moldados de concreto para pavimentação

### 2.2.1 Tipos

As peças de concreto são agrupadas em quatro grupos pela NBR 9781 – Peças de concreto para pavimentação – Especificação e Métodos de Ensaio (2013) conforme os seus formatos: tipo I, tipo II, tipo III e tipo IV (Figura 4). A seguir serão descritos os formatos de cada tipo conforme a referida norma:

- tipo I: são as peças com formato retangular, com relação comprimento/largura igual a dois, arranjadas entre si nos quatro lados. Elas podem ser assentadas em fileiras ou em espinha de peixe;
- tipo II: são peças de concreto com formato único, diferente do retangular. Elas só podem ser assentadas em fileiras;
- tipo III: são as peças de concreto com formatos geométricos característicos (trapézios, hexágonos, triédros etc.), com pesos superior a 4 kg;
- tipo IV: conjunto de peças de concreto de tamanhos diferentes, ou uma única peça com juntas falsas. Elas podem ser utilizadas com um ou mais padrões de assentamento.

**Figura 4 - Exemplo de peças de concreto**

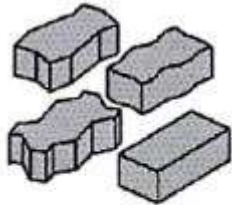
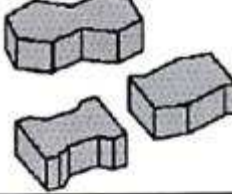
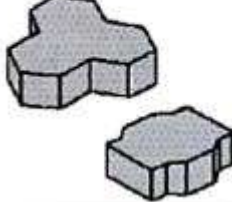


Fonte: Adaptado da NBR 9781 (2013, p. 20)



Hallack (1998, *apud* MEDINA, 2015, p. 424) classifica os modelos em três grupos conforme indicado na Figura 5.

**Figura 5 - Modelos de peças pré-moldadas de concreto para pavimentação**

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

Fonte: Hallack (1998 *apud* MEDINA, 2015, p. 424)

Já Fernandes (2016, p. 27) classifica os *pavers* levando em consideração o processo de produção e algumas características específicas para cada tipo, resultando em 9 grupos: prensados, dormidos, virados, drenantes, dupla capa, coloridos, mesclados, envelhecidos e ecológicos.

Visto que os processos produtivos serão abordados mais adiante neste trabalho, os três primeiros grupos (prensados, dormidos e virados) não serão apresentados abaixo, pois se referem ao método de produção. Serão apresentadas apenas as características dos bloquetes drenantes, dupla capa, colorido, mesclado, envelhecido e ecológico. Conforme Fernandes (2016, p. 31):

- a) os *pavers* drenantes (Figura 6) são produzidos com formatos que permitem a passagem da chuva por uma abertura que se forma entre as peças. Estas aberturas podem ser obtidas por um formato irregular ou mediante espaçadores maiores na peça;
- b) as PPC dupla capa (Figura 7) são produzidas em duas camadas, na qual apenas a segunda é pigmentada. A primeira camada é bem mais grossa que a segunda,

podendo ser utilizados agregados mais graúdos para aumentar a resistência da peça;

- c) os *pavers* coloridos (Figura 8) são obtidos através da mistura de pigmentos à base de óxido de ferro, entre 3 a 5% do peso do cimento. O uso do pigmento não altera na resistência da peça;
- d) os mesclados (Figura 9) são produzidos a partir da mistura de duas ou mais argamassas com cores distintas. Elas são preparadas separadamente, e depois são unidas com uma leve mistura, sem homogeneizar. Após esse procedimento, segue-se o processo normal de fabricação das peças;
- e) os envelhecidos são utilizados para reconstruir calçamentos e revitalizar áreas antigas da cidade, preservando o seu valor histórico. Após a cura, os *pavers* são submetidos a um processo de tamboreamento, no qual ocorre a quebra das arestas. Pode também ser feito um manchamento com pigmento para simular a ação do tempo;
- f) por fim, as PPC ecológicas (Figura 10), que são conhecidas como pisograma ou *pavergreen*. Ele permite uma associação com a grama, tornando uma opção esteticamente atrativa e ecologicamente correta.

**Figura 6 - Pavers drenantes**



Fonte: Marchioni e Silva (2010, p. 5)

**Figura 7 - *Paver* dupla capa**



Fonte: Fernandes (2016, p. 32)

**Figura 8 - PPC coloridas**



Fonte: <http://www.microxcolor.com.br/pigmentos-concreto-colorido.php/> (Acessado em 01/10/2017)

**Figura 9 - Calçada com *paver* mesclado**



Fonte: <http://multeffect1.blogspot.com.br/2011/02/reformas-de-calçadas.html> (Acessado em 01/10/2017)



**Figura 10 - Estacionamento com *paver* ecológico**



Fonte: <http://www.archiexpo.com/prod/uhl/product-150474-1691734.html> (Acessado em 01/10/2017)

Há ainda as peças de concreto permeáveis (Figura 11). Elas são obtidas através de misturas com pouca argamassa, formando uma peça de alta porosidade. O fato de possuir muitos poros não causa grande queda da resistência, uma vez que não é utilizada areia na sua confecção, resultando assim num fator água/cimento baixo e uma pasta de cimento bem rica. No pavimento executado com este tipo de peça, a água passa pelo interior da mesma, diferente do que acontece com a PPC drenante (FERNANDES, 2016, p. 31).

**Figura 11 - *Paver* permeável**



Fonte: <http://infraestruturaurbana17.pini.com.br/solucoes-tecnicas/13/concreto-permeavel-alternativa-para-aumentar-a-permeabilidade-de-pavimentos-254488-1.aspx> (Acessado em 01/10/2017)

## 2.2.2 Materiais

Os materiais utilizados para a fabricação das PPC são o cimento Portland, os agregados, a água e, se necessário, aditivos e pigmentos. A seguir serão apresentadas as características destes materiais.

### 2.2.2.1 Cimento Portland

Segundo Rodrigues (1995, p. 4), pode ser utilizado qualquer tipo de cimento produzido no país, devendo-se tomar cuidado quando são utilizados cimentos com adições.

A Norma Brasileira (NBR) 9781 (2011, p. 3) permite a utilização de cimento Portland de qualquer tipo e classe, desde que atendam às seguintes normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT): NBR 5732, NBR 5733, NBR 5735, NBR 5736, NBR 11578 e NBR 12989.

Pirola (2011, p. 59) diz que o cimento mais adequado para a fabricação das peças é o Cimento Portland de Alta Resistência Inicial (CPV ARI), uma vez que a elevada resistência no início da cura permite que a desforma seja feita mais rápida.

Recomenda-se que o consumo de cimento para produção de PPC com resistência característica à compressão (f<sub>pk</sub>) de 35MPa esteja entre 300 e 400 kg/m<sup>3</sup> de concreto. Porém, a determinação desse consumo está intimamente ligada ao equipamento empregado, ou seja, com um mesmo traço, podem-se produzir peças com diferentes resistências mecânicas, desde que estas apresentem uma maior ou menor compacidade. Traços com um consumo de cimento muito baixo podem apresentar problemas de segregação, além de dificilmente alcançarem as resistências estabelecidas por norma para PPC. Por outro lado, um consumo muito elevado pode comprometer o ciclo de produção das peças por problemas de coesão exagerada e aderência indesejável às sapatas durante a compressão das peças (PIROLA, 2011, p. 60).

Fernandes (2016, p. 56) afirma que o cimento deve permanecer livre de umidade até o momento que será utilizado, a fim de garantir que suas propriedades não sejam alteradas. Portanto, devem ser armazenados em locais cobertos, protegido do vento e da umidade.

### 2.2.2.2 Agregados

Os agregados utilizados devem atender a norma NBR 7211 – Agregados para concreto – Especificação.



Normalmente, utiliza-se areias naturais como agregado miúdo. Porém, emprega-se também o pó de brita. A escolha dos materiais que serão utilizados depende de vários fatores, entre eles a disponibilidade na região. (PIROLA, 2011, p. 60).

Segundo Rodrigues (1995, p. 4), a areia utilizada deve, preferencialmente, ser de granulometria média, limpa e isenta de impurezas orgânicas. O autor fala ainda que a função do pó de pedra (ou pó de brita) é aumentar a coesão da mistura e melhorar o acabamento do bloco. Este material não deve ser utilizado se estiver contaminado com argila.

Para agregados graúdos, geralmente é utilizada a brita zero. De acordo com Pirola (2011, p. 61), este material é mais indicado por apresentar menos microfissuras internas, além de uma melhor extensão de aderência com a pasta de cimento, favorecendo assim a obtenção de resistências superiores.

De acordo com Fernandes (2016, p. 59), recomenda-se diâmetro máximo de 6,3 mm para os agregados a fim de garantir o bom acabamento superficial da camada de rolamento.

#### 2.2.2.3 Água

Consoante Pirola (2011, p. 61), a qualidade da água tem um papel importante, uma vez que as impurezas presentes na mesma podem influenciar desfavoravelmente a resistência do concreto ou causar manchas na superfície. A autora diz que geralmente a água potável fornecida pela rede normal de abastecimento é adequada para a produção, porém, se for necessária a utilização de água não tratada, deve ser feita a análise para verificação da qualidade.

A quantidade de água é fundamental na dosagem de concreto para os *pavers*. Apesar de necessária para hidratar o cimento, ela pode prejudicar o concreto, pois aumenta a porosidade da pasta, diminuindo sua resistência. Por isso é importante a utilização de aditivos que cumpram o papel de plastificar a mistura sem alterar a resistência da peça, de forma que não haja necessidade de aumentar a quantidade de água (FERNANDES, 2016, p. 97).

#### 2.2.2.4 Aditivos e pigmentos

A utilização de aditivos é normatizada pela NBR 11768 – Aditivos químicos para concreto de cimento Portland – Requisitos. Os pigmentos devem atender à ASTM C979 / C979M e devem ser de base inorgânica.

Segundo Pirola (2011, p. 62), os aditivos mais utilizados para produção de PPC são os incorporadores de ar, com a finalidade de melhorar a trabalhabilidade do mesmo.

Fernandes (2016, p. 98) afirma que “se o aditivo for ministrado no início da mistura, entrará em contato com o material seco, principalmente o cimento, que absorverá o produto e diminuirá muito o seu efeito”.

### 2.2.3 Processos produtivos

As PPC podem ser moldadas manualmente ou mecanicamente. No processo manual, os moldes são preenchidos de forma manual sobre uma mesa vibratória, utilizando-se concreto plástico. Já no processo mecânico, as peças são feitas em máquinas específicas para a produção em grande escala, utilizando-se concreto seco. Atualmente, os processos manuais não são muito utilizados (CRUZ, 2003, p. 29).

Segundo Rodrigues (1995, p. 3), as máquinas são geralmente de dois tipos: vibratórias e vibro-compactadoras. O autor diz que as vibratórias não são muito indicadas, pois exigem misturas ricas em cimento. Além disso, as vibroprensas produzem peças mais resistentes ao desgaste por conta do bom acabamento superficial.

As vibroprensas são equipamentos multifuncionais e podem ser utilizados na produção de vários tipos de artefatos de cimento Portland, como blocos de concreto, tijolos, meio fio, *pavers*, etc. (CRUZ, 2003, p. 29).

A seguir serão descritos os principais equipamentos e as instalações necessárias em uma fábrica para a produção das PPC.

#### 2.2.3.1 Baias de agregados

As baias de agregados (Figura 12) são constituídas de muros para separar os agregados, que têm como objetivo protegê-los de contaminação (mistura com os outros agregados). O tamanho e capacidade dependem da produção da fábrica e da localização e disponibilidade do fornecedor (FERNANDES, 2016, p. 36).

“A armazenagem dos materiais destinados à produção de PCP deve ser a mais racional possível, de maneira que todos os percursos entre as baias e os silos sejam minimizados e não interfiram uns com os outros” (PIROLA, 2011, p. 39).

**Figura 12 - Baias de agregados**



Fonte: Autora (2017)

### *2.2.3.2 Estoque de cimento*

O tipo de armazenamento do cimento depende do modo de fornecimento do mesmo, que pode ser em sacos ou à granel.

Fernandes (2016, p. 56) diz que quando o cimento utilizado for fornecido em sacos, deve ser armazenado em pilhas de no máximo 15 sacos de altura, sobre uma base seca e distante de paredes pelo menos 30 cm, em local seco e sem influência do vento (Figura 13). O autor diz ainda que quando o período de armazenamento do cimento for mais de 30 dias, os sacos devem ficar em pilhas de no máximo 10 unidades para evitar o adensamento.

**Figura 13 - Estocagem de Cimento**



Fonte: Autora (2017)

Se a indústria possuir sistema de dosagem automático, no qual o cimento é pesado de forma programada, ele deve ser ministrado a granel. Para isso, são utilizados silos de cimento a granel (Figura 14) ou os silos rasga saco (Figura 15) (FERNANDES, 2016, p. 38).

**Figura 14 - Silo de armazenamento de cimento à granel**



Fonte: Clementino (2014, p. 57)

**Figura 15 - Silo rasga saco**



Fonte: <http://fempindustrial.com.br/site/equipamentos/central-dosadora/rasga-saco-manual/> (Acessado em 15/11/2017)

O primeiro caso é viável quando a indústria se localiza próxima de fábricas ou centros de distribuição de cimento, pois o mesmo se torna mais barato por não utilizar embalagem. Quando a empresa não compra o cimento a granel, são utilizados os silos rasga saco, no qual as embalagens são abertas e o produto é despejado num reservatório aparelhado com um sistema de roscas que leva o produto para balança. Este conjunto permite a utilização do cimento ensacado como se fosse a granel (FERNANDES, 2016, p. 37 e p. 38).

Pirola (2011, p. 39) diz ainda que, mesmo que a dosagem dos agregados seja feita em volume, o cimento utilizado deve ser estocado de forma que facilite a dosagem gravimétrica e nunca volumétrica.

### *2.2.3.3 Unidade de medição dos materiais para a mistura*

A maneira que os agregados são proporcionados varia de indústria para indústria. Eles podem ser dosados através de carrinhos de mão, giricas (Figura 16), correias transportadoras com seção controlada, usinas gravimétricas controladas por uma central de comandos, etc. Não é tão necessário que haja precisão nos valores medidos, mas é essencial que não haja variação de peso entre as betonadas (FERNANDES, 2016, p. 37).

Alguns equipamentos são capazes de medir inclusive a umidade dos agregados, e a partir dos resultados, descontar a água a ser adicionada no traço.

**Figura 16 - Giricas para medição de volume dos agregados**



Fonte: Autora (2017)

#### 2.2.3.4 Misturador

Este equipamento recebe os materiais que formam o concreto e os misturam. Fernandes (2016, p. 39) afirma que os tipos de misturadores mais indicados para produção de *pavers* são os biplanetários, os de eixo horizontal helicoidal, os de eixo vertical fixo e os de eixo horizontal de pás, já a betoneira não é aconselhada, pois empelota a mistura no interior do tambor.

O transporte dos materiais da unidade dosadora para o misturador é feito através de esteiras. A Figura 17 mostra um misturador de eixo helicoidal.

**Figura 17 - Misturador**



Fonte: Autora (2017)

#### 2.2.3.5 Vibroprensa

Os equipamentos de vibro-compressão são chamados de vibroprensas. Estas máquinas imprimem graus de compactação e vibração simultaneamente ao concreto seco, garantindo as principais propriedades das PPC, como resistência à compressão e textura (PIROLA, 2011, p. 43).

O tempo de alimentação da máquina, da prensagem, acomodação e extrusão das peças são controlados a partir de centrais de comando. Este controle na produção das peças garante que elas tenham densidade constante, mesmo com pequenas variações dos materiais empregados (FERNANDES, 2016, p. 43).

A vibroprensa é composta basicamente pelo silo de armazenamento, gaveta, sistema de compressão, forma ou molde e sistema de vibração, conforme a Figura 18.



O material é transportado do misturador para a vibroprensa por meio da esteira de concreto.

**Figura 18 - Vibroprensa**



Fonte: Pirola (2011, p. 44)

#### 2.2.3.6 Câmaras de cura

No término do processo de moldagem das PPC, as mesmas devem ser transportadas até o local de cura com cuidado para evitar vibrações que possam danificar as peças (PIROLA, 2011, p. 54).

Segundo Fernandes (2016, p. 44) as câmaras de cura são ambientes nos quais os produtos ficam por um período de 16 a 30 horas, em condições próprias para evitar a evaporação precoce da água que é necessária para a hidratação do cimento.

Geralmente utiliza-se técnicas de cura térmica a vapor para acelerar o ganho de resistência do concreto nas idades iniciais.

A Figura 19 mostra os *pavers* após a moldagem em uma câmara de cura.

**Figura 19 - PPC na câmara de cura**



Fonte: Autora (2017)

#### *2.2.3.7 Pátios de armazenamento*

Os pátios de armazenamento geralmente são pátios abertos (Figura 20) nos quais os bloquetes ficam armazenados depois de passar o período de cura. As PPC são colocadas sobre paletes, conforme a Figura 21, com o objetivo de facilitar a operação de transporte.

**Figura 20 - Pátio de Armazenamento**



Fonte: Autora (2017)



**Figura 21 - Peças organizadas sobre paletes**



Fonte: Autora (2017)

## **2.3 Pavimento com blocos intertravados de concreto**

### **2.3.1 Características**

“A pavimentação com peças de concreto pode ser vista como uma solução alternativa entre os pavimentos flexível e rígido, quando a aplicação destes se torna inviável, seja por motivos técnicos, seja por motivos econômicos” (CARVALHO, 1998, p. 9).

Segundo Carvalho (1998, p. 9), os pavimentos intertravados de concreto se destacam pelas seguintes características: baixo custo de manutenção, uma vez que cerca de 95% das peças retiradas durante a manutenção podem ser reaproveitadas; o pavimento pode ser utilizado imediatamente após a construção, não sendo necessário esperar período de cura; não é necessário mão de obra especializada; boa superfície de rolamento; grande possibilidade de ordem estética, já que há variação de forma e cor das peças pré-moldadas.

Acrescenta-se ainda, conforme Júnior (2007, p. 21): a baixa absorção de luz solar, evitando assim o incômodo da elevação exagerada da temperatura ambiente como ocorre com pavimentos asfálticos; a desnecessidade do emprego de processos térmicos ou químicos na aplicação dos materiais utilizados.

Para Godinho (2009, p. 48), este tipo de pavimento possui, ainda, as seguintes vantagens: capacidade de manter a continuidade do pavimento mesmo quando sujeitos a acomodação do subleito; impede a transmissão e o aparecimento na superfície do pavimento

de eventuais trincas das camadas de base; resistem ao ataque de óleos e ao derramamento de combustíveis; o controle de qualidade dos materiais pode ser feito no próprio centro de produção das peças pré-moldadas.

Em relação às limitações, Madrid (1985 *apud* GODINHO, 2009, p. 50) acrescenta que este tipo de pavimento gera níveis de ruídos maiores do que aqueles gerados por outros tipos de pavimentos; provoca maior vibração nos veículos; requer um rígido processo construtivo, ainda que de acordo com parâmetros simples (tolerâncias de nivelamento, largura de juntas, compactação, escolha de areias etc); deve ter estruturas de drenagem e contenção lateral bem projetadas e bem construídas.

De acordo com Godinho (2009, p. 51), a utilização das PPC tem um grande campo de aplicação, que vai de estacionamentos de automóveis até áreas submetidas a cargas elevadas.

Ainda conforme o autor, as principais áreas de utilização dos pavimentos intertravados de concreto são: calçadas, parques, praças, jardins, ruas, avenidas, estacionamentos, paradas de ônibus, faixas demarcatórias de sinalização, trechos alertas, acostamentos de estradas, pavimentos sobre os quais haverá necessidade de obras de manutenção.

Além destas, são aplicados também em áreas de cargas, áreas de exposições e feiras, pisos rurais, pavimentos nos quais o subleito não tem boas condições de suporte, terminais de cargas ou de containers, pátios e vias de aeroportos (GODINHO, 2009, p. 51).

### 2.3.2 Estrutura

O pavimento é um conjunto de várias camadas de espessuras finitas assentadas sobre um semi-espaço infinito (subleito) que exerce a função de fundação da estrutura (SENÇO, 2007, p. 7).

Segundo o autor, o pavimento tem a função de resistir e distribuir os esforços verticais provenientes do tráfego; melhorar as condições de rolamento em relação ao conforto e à segurança; e resistir aos esforços horizontais (desgaste), tornando a superfície de rolamento mais durável.

A NBR 15953/2011 (Pavimento intertravado com peças de concreto – Execução) trata o pavimento intertravado como:

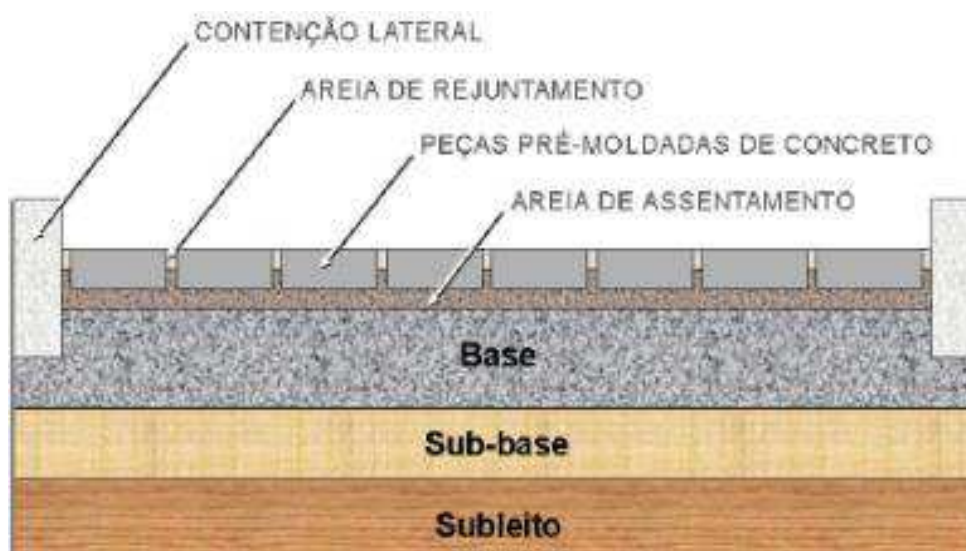
Pavimento flexível cuja estrutura é composta por uma camada de base (ou base e sub-base) seguida por camada de revestimento constituída de peças de concreto sobrepostas em uma camada de assentamento e cujas juntas entre as peças são

preenchidas por material de rejuntamento e o intertravamento do sistema é proporcionado pela contenção.

A estrutura deste pavimento é bastante parecida com a estrutura dos pavimentos asfálticos. O revestimento e a areia de assentamento são contidos lateralmente, geralmente, por meio-fio, conforme a Figura 22.

Consoante Cruz (2003, p. 12), camadas de geossintéticos começaram a ser bastante utilizadas com a finalidade de proteger camadas inferiores da infiltração de água, além de evitar o bombeamento de partículas finas entre camadas gerado pela ação do tráfego. Estas mantas também tem a função de conter fuga de material em áreas próximas às contenções laterais. A seguir serão descritas as camadas (Figura 22) do pavimento em questão e suas respectivas características.

**Figura 22 - Esquema de uma seção intertravada de peças de concreto**



Fonte: Hallack (1998 *apud* GODINHO, 2009, p. 35)

### 2.3.2.1 Subleito

Segundo o DNIT (2006, p. 106), o subleito é a infraestrutura ou terreno de fundação do pavimento. Ele é limitado superiormente pelo pavimento e seu estudo é de extrema importância para o dimensionamento das camadas superiores.

Quando o valor de CBR do subleito for inferior a 2%, é recomendado ou que seja colocada uma camada de 30 cm de reforço, com CBR no mínimo 5% superior, ou que o material seja substituído até uma determinada profundidade (CARVALHO, 1998, p. 12).

### 2.3.2.2 *Sub-base*

“É a camada complementar à base, quando por circunstâncias técnico-econômicas não for aconselhável construir a base diretamente sobre a regularização” (DNIT, 2006, p. 106).

Senço (2007, p. 19) diz que o material que compõe a sub-base deve ter características tecnológicas superiores às do material de reforço e do subleito, enquanto o material da base deve ser de ter características melhores que o material da sub-base.

“O material de sub-base também será definido pelo valor de CBR mínimo necessário, que, juntamente com a espessura da camada, será função do tráfego e das condições de suporte de subleito” (CARVALHO, 1998, p. 12).

### 2.3.2.3 *Base*

É a camada que recebe e distribui os esforços provenientes do tráfego e transmite-os em intensidade significativamente menor para as camadas subjacentes (GODINHO, 2009, p. 35).

Segundo Balbo (2007, p. 38), as bases podem ser constituídas por solo estabilizado naturalmente, misturas de solos e agregados (solo-brita), brita graduada, brita graduada tratada com cimento, solo estabilizado quimicamente com ligante hidráulico ou asfáltico, concretos etc.

### 2.3.2.4 *Areia de assentamento*

Também chamada de colchão de areia, de acordo com Carvalho (1998, p. 13), “esta camada será sempre composta de areia contendo no máximo 5% de silte e argila e, no máximo, 10% de material retido na peneira de 4,8mm”. A tolerância para silte e argila, pela NBR 15953/2011 (Pavimento intertravado com peças de concreto – Execução), é de 10%.

A Tabela 1 mostra a faixa granulométrica recomendada segundo a NBR 15953 (2011, p. 7).

**Tabela 1 - Faixa granulométrica recomendada para a camada de assentamento (areia) das peças**

Abertura de peneira	Porcentagem retida, em massa (%)
6,3 mm	0 a 7
4,75 mm	0 a 10
2,36 mm	0 a 25
1,18 mm	5 a 50
600 $\mu\text{m}$	15 a 70
300 $\mu\text{m}$	50 a 95
150 $\mu\text{m}$	85 a 100
75 $\mu\text{m}$	90 a 100

Fonte: NBR 15953 (2011)

Beaty (1992, p. 273 e 274) relata que as principais funções dessa camada são: preencher as juntas na parte inferior das peças pré-moldadas de concreto; fornecer um suporte homogêneo e uma superfície lisa para assentar as peças, a fim de evitar tensões que possam causar danos aos blocos; acomodar as possíveis diferenças de espessuras das peças e desníveis da base.

A espessura do colchão de areia deve ser uniforme, com 5 cm e variação de  $\pm 2$  cm, segundo a NBR 15953/2011. Mas segundo Burak (*apud* CRUZ, 2003, p. 20), “apesar da espessura do colchão de areia corresponder a menos de 10% da espessura total do pavimento, sua função estrutural não é menos importante que a de qualquer outra camada”.

#### 2.3.2.5 Camada de rolamento

É a camada mais superficial do pavimento. Ela que recebe diretamente as ações do tráfego e transmite os esforços para as demais camadas. Nos pavimentos intertravados, esta camada é formada pelos blocos pré-moldados de concreto.

Júnior (2007, p. 26) diz que os espaços entre as PPC geralmente são preenchidos com a mesma areia utilizada no colchão de assentamento ou com brita e material betuminoso. Este preenchimento, junto com a contenção lateral, garante o intertravamento das peças pré-fabricadas de concreto.

A Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) (2010, p. 9) caracteriza o intertravamento como “a capacidade que os blocos adquirem de resistir a movimentos de

deslocamento individual, seja ele vertical, horizontal ou de rotação em relação a seus vizinhos”.

Para a ABCP (2010, p. 10), o deslocamento vertical (Figura 23a) ocorre quando um conjunto de blocos recebe uma carga vertical bem no centro de um dos blocos.

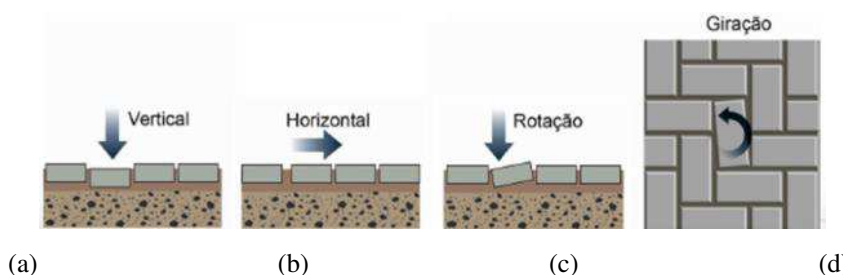
O intertravamento vertical pode ser atingido utilizando-se peças com formatos especiais que se encaixam uma com a outra, para que ocorra um contato tipo macho-fêmea quando a carga vertical for aplicada com o intuito de distribuir os esforços para as outras peças (CRUZ, 2003, p. 13).

“Outro tipo de intertravamento vertical independe do formato das peças. Este é alcançado através da malha de juntas formada pelos grãos de areia bem compactados lateralmente e a estabilidade estrutural do colchão de areia compactado e confinado” (CRUZ, 2003, p. 13).

Segundo Cruz (2003, p. 12), o intertravamento horizontal está associado ao formato e a organização das peças ao serem assentadas sobre o colchão de areia, uma vez que esses elementos contribuem na distribuição dos esforços de cisalhamento horizontal sob a ação do tráfego, principalmente em áreas de aceleração e frenagem. O autor destaca que o enchimento das juntas entre as peças, com areia, se for executado de maneira adequada, é o responsável pelo impedimento do deslocamento horizontal das peças (Figura 23b).

O deslocamento rotacional ou giratório ocorre quando a carga é aplicada na extremidade do bloco, que tem tendência a rotacionar conforme a Figura 23c e 23d. Cruz (2003, p. 13) diz que a ocorrência desse movimento é devido ao tipo de frequência do tráfego, e ocorre principalmente em áreas de frenagem, aceleração, curvas e regiões com confinamento lateral problemático. A ocorrência do travamento rotacional depende da largura dos blocos, do tipo de areia utilizada e do rejuntamento.

**Figura 23 - Tipos de deslocamento do bloco**

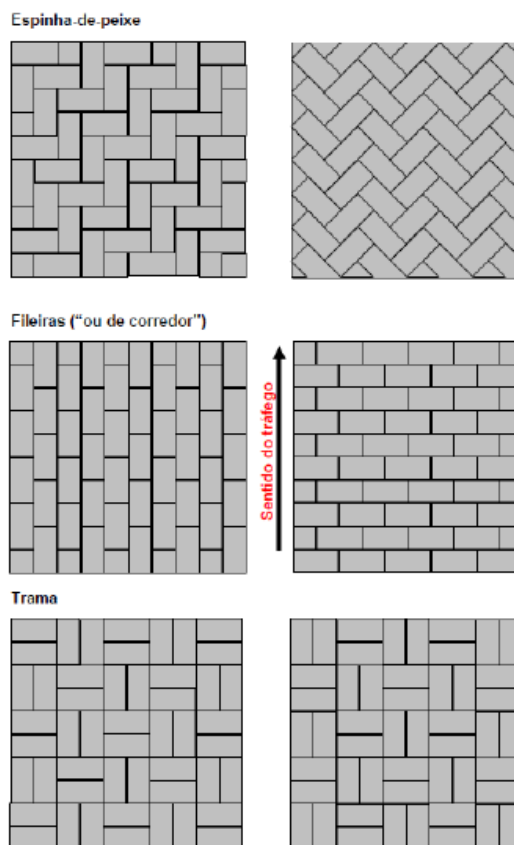


Fonte: Adaptado da ABCP – Execução e Manutenção de Pavimento Intertravado

A durabilidade do pavimento intertravado de concreto é influenciada também pelo arranjo escolhido para assentamento das PPC. Além disso, este arranjo define a aparência

estética do pavimento (CRUZ, 2003, p. 18). A Figura 24 mostra os principais tipos de arranjo dos pavimentos intertravados.

**Figura 24 - Arranjo dos pavimentos intertravados de concreto pré-moldado**



Fonte: Hallack, 1998 (*apud* GODINHO, 2009, p. 38)

### 2.3.3 Dimensionamento

Segundo Medina (2015, p. 427), a análise estrutural dos pavimentos intertravados apresenta dificuldade por se tratar de uma camada segmentada. Para tanto, tem-se assimilado o pavimento intertravado ao pavimento asfáltico, através de módulo de elasticidade equivalente proveniente de ensaios com deflectômetros ou com a viga Benkelman.

Diversos estudos buscam avaliar o comportamento mecânico deste tipo de pavimento. Shackel (1992, *apud* MEDINA, 2015, p.427) descreve que há um aumento progressivo na rigidez da camada de PPC e colchão de areia nos estágios iniciais de vida do pavimento até ele atingir um equilíbrio ou uma condição de intertravamento máxima, que segundo o autor, ocorre durante as primeiras 10000 repetições do eixo padrão. Estas características influenciam na metodologia de dimensionamento.

Medina (2015, p. 431) descreve os métodos LOCKPAVE (proposto por Shackel) e o proposto por Hallack, além de mencionar o método da ABCP. O método de dimensionamento utilizado neste trabalho será do Estudo Técnico 27 – Pavimentação com peças pré-moldadas de concreto da ABCP, que será descrito no item 3.3.3.

#### 2.3.4 Execução

O manual da ABCP “Prática Recomendada PR-1 – Pavimentos Intertravados” apresenta algumas providências para o preparo do subleito e das camadas de base e sub-base de pavimentos intertravados.

O preparo do subleito deve estender-se para além dos confinamentos laterais, cuidando-se para assegurar que o subleito seja mantido limpo, seco e bem drenado. Em regiões de lençol freático aflorante, a drenagem deve ser feita de modo a manter o lençol rebaixado a pelo menos 1,5 metro da cota final da superfície do pavimento acabado (ABCP, 2012, p. 1).

Devem ser retiradas todas as plantas, raízes e matéria orgânica, sendo o subleito compactado até, no mínimo, 60 cm de profundidade (Figura 25). A compactação deve ser realizada de modo a se obter pelo menos 100% da massa específica aparente seca máxima encontrada no ensaio de compactação com energia normal. O solo do subleito deve ser formado por material com CBR  $>2\%$  e expansão  $\leq 2\%$ . Recomenda-se ainda um caimento mínimo de 2% para facilitar o escoamento da água na superfície do pavimento (ABCP, 2012, p.1).

**Figura 25 - Escavação do solo**



Fonte: ICPI (2017, p. 1)



O *Interlocking Concrete Pavement Institute* (ICPI) em seu manual de especificações técnicas “*Tech Spec 2*” (2017, p. 2) destaca ainda a importância de verificar antes da escavação o encaminhamento de tubulações existentes.

Segundo Senço (2001, p. 663), “sobre o subleito preparado não deverá ser permitido trânsito, devendo o pavimento ser executado o mais rapidamente possível para evitar danos por chuvas”.

A Figura 26 mostra o subleito após compactado.

**Figura 26 - Compactação do subleito**



Fonte: ABNT (2012, p. 1)

Assim que concluída a regularização do subleito, é construída a sub-base (quando especificada em projeto) e a base, sendo os materiais constituintes estabelecidos pelo projetista (T&A, 2004, p. 32).

A construção e as especificações das camadas de base e sub-base são as mesmas adotadas na construção de outros tipos de pavimento. A ABCP (2012, p. 3) destaca que os aspectos que merecem atenção incluem a regularização e a compactação destas camadas, uma vez que os casos práticos de pavimentos intertravados mostram que a compactação inadequada destas camadas é uma causa comum do insucesso do pavimento.

A camada de base pode ser composta de materiais granulares, material estabilizado com cimento ou concreto rolado. Quando os materiais de base e sub-base forem granulares, é importante que estejam limpos e sejam bem graduados, para que ao serem compactados, obtenha-se bom arranjo e amarração entre os grãos, evitando assim que haja assentamentos irregulares (ABCP, 2012, p. 2 e 4).

“A superfície da camada de base deverá ser a mais fechada possível, ou seja, com o mínimo de vazios para não haver perda de areia da camada de assentamento dos blocos” (ABCP, 2012, p. 3).

Se o material da base permitir a entrada da areia do colchão de areia, é recomendável que se espalhe um material fino na superfície e o compacte, ou pode ser feita imprimação com aplicação de asfalto diluído (ICPI, 2017, p. 5).

O manual “Práticas Recomendadas PR-2 – Pavimentos Intertravados” diz que o confinamento lateral é uma parte fundamental do pavimento intertravado. Ele deve obrigatoriamente ser feito, evitando assim o deslizamento dos blocos e mantendo a continuidade da camada de PPC.

O confinamento deve ser feito antes do lançamento do colchão de areia, de modo que a área em que os blocos serão assentados forme uma “caixa” na qual o fundo é a camada de base e as paredes são os confinamentos (ABCP, 2012, p. 1).

“Há dois tipos de confinamento: o externo, que rodeia o pavimento em seu perímetro (normalmente sarjetas e meios-fios) e o interno, que rodeia as estruturas que se encontram dentro dele (bocas de lobo, canaletas, jardins etc)” (ABCP, 2012, p. 1).

A Figura 27 mostra um exemplo de confinamento externo.

**Figura 27 - Confinamento externo (meio fio)**



Fonte: ABCP (2012, p. 1)

O manual da T&A (2014, p. 32) diz que os confinamentos externos devem ser alinhados e nivelados. Quando houver contenção lateral com meio fio de concreto, este deve

ser fixado na camada de base. É importante que se faça o controle de cotas durante a execução dos confinamentos para garantir que após o assentamento das peças eles atendam às cotas de projeto.

No encontro do pavimento intertravado com outro tipo de pavimento ou com uma via sem pavimentação, deverá ser construída uma viga de confinamento, de concreto, com largura mínima de 15 cm e altura suficiente para penetrar, no mínimo, 20 cm abaixo da camada de areia de assentamento dos blocos. No caso de construção do pavimento por faixas, devem-se construir confinamentos longitudinais que podem ser definitivos ou provisórios (ABCP, 2012, p. 3).

A execução da camada de areia é feita esparramando-se o material regularmente sobre a camada de base. Ela só deverá ser executada quando todas as outras camadas estiverem prontas, assim como os sistemas de drenagem, as instalações complementares e as contenções (T&A, 2014, p. 33).

É importante também que o nivelamento do terreno e os caimentos estejam de acordo com o projeto. Em caso contrário, não é recomendado que os ajustes sejam feitos com a areia de assentamento (ABCP, 1998, p. 5), uma vez que, segundo o ICPI (2017, p. 6), ao longo do tempo as irregularidades serão refletidas na superfície do pavimento.

A ABCP (1998, p. 5) recomenda que a espessura do colchão de areia seja de 30 mm a 50 mm. A areia deve ser sarrafeada e nivelada na altura correta.

“Não se deve andar sobre o leito de areia já regularizado, para evitar que haja deformações na superfície. A fim de minorar os riscos dessas possíveis variações, aconselha-se não executar grandes extensões de coxim de areia à frente da linha de blocos já assentados” (ABCP, 1998, p. 6).

Com o colchão de areia pronto, inicia-se a colocação das PPC. Senço (2001, p. 665) diz que os blocos devem ser empilhados preferencialmente à margem do local do pavimento. Ele recomenda ainda a colocação de linhas de referência afastadas no mínimo 10 metros para auxiliar o assentamento dos blocos.

O assentamento do *paver* pode ser mecanizado ou manual. No primeiro caso utiliza-se pavimentadoras automáticas de *pavers* (Figuras 28 e 29).

**Figura 28 - Pavimentadora automática de *paver* (1)**



Fonte: <http://www.linearquitadura.com.br/blog/2015/12/17/pavimentadora-automatica-de-paver/> (Acessado em 16/11/2017)

**Figura 29 - Pavimentadora automática de *paver* (2)**



Fonte: <http://www.tetraconind.com.br/blog/pavimentadora-automatica-de-paver/> (Acessado em 16/11/2017)

Para o assentamento manual (Figura 30), a equipe mínima de trabalho deve ser composta por um calceteiro, um auxiliar para transportar as peças e outro auxiliar para abastecer o calceteiro. Eles deverão trabalhar sobre o piso já assentado para não causar danos ao colchão de areia (T&A, 2014, p. 35).

“O assentamento dos blocos deve ser iniciado a partir de um meio-fio lateral e em ângulos retos, em relação ao eixo da pista, devendo ser dispostos o mais próximo possível um do outro, de maneira a garantir o intertravamento” (ABCP, 1998, p.6).

**Figura 30 - Assentamento manual das PPC**



Fonte: ICPI (2017, p. 5)

A ABCP (1998, p.7) recomenda ainda que as juntas entre os blocos não excedam de 2 mm a 3 mm. Para o acabamento junto às contenções ou interrupções, como bueiros e caixas de inspeção, utiliza-se blocos serrados ou cortados, tomando o cuidado para que eles fiquem um pouco mais elevados que as interrupções (cerca de 3mm). A dimensão mínima da peça cortada deve ser de um quarto do bloco.

Concluída a etapa do assentamento, executa-se a compactação (Figura 31) sobre toda a área da pavimentação, a fim de adensar a areia e eliminar eventuais desníveis. É utilizada uma placa vibratória, passando-a sobre o mesmo ponto, normalmente, de duas a três vezes. A compactação não deve ser feita a uma distância de mais de 1 metro dos blocos que ainda não estejam confinados (ABCP, 1998, p. 8).



**Figura 31 - Compactação dos blocos**

Fonte: ICPI (2017, p. 6)

A última etapa é o rejunte do pavimento, que deve ser feito com areia ou pó de brita (Figura 32). Segundo o IPCI (2014, p. 7), os *pavers* devem ser compactados novamente até as juntas ficarem cheias. É recomendada a utilização de areia um pouco mais fina que a da camada de assentamento, pois facilita o enchimento das juntas. Porém, a areia do colchão também pode ser utilizada.

**Figura 32 - Rejunte com areia**

Fonte: ICPI (2017, p. 6)

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 Ensaios dos agregados para fabricação de peças de concreto

A norma ABNT NBR 9781/2013 (Peças de concreto para pavimentação – Especificações e métodos de ensaio) preconiza que os agregados utilizados na fabricação das PPC obedecem à norma ABNT NBR 7211/2009 – Agregados para concreto – Especificação. Esta norma especifica os requisitos que devem ser atendidos pelos agregados miúdos e graúdos utilizados na produção de concreto. Nos subitens a seguir, serão descritos os ensaios realizados e os requisitos estabelecidos para cada um, conforme a norma referida.

##### 3.1.1 Granulometria

A distribuição granulométrica dos agregados graúdos e miúdos deve ser determinada conforme a ABNT NBR NM 248/2003 (Agregados – Determinação da composição granulométrica).

Pra a realização do ensaio, são utilizados os seguintes materiais:

- a) balança;
- b) estufa capaz de manter a temperatura entre 100°C e 110°C;
- c) peneiras das séries normal (75 – 37,5 – 19 – 9,5 – 4,75 – 2,36 – 1,18mm – 600 – 300 – 150µm) e intermediária (63 – 50 – 31,5 – 25 – 12,5 – 6,3mm);
- d) agitador mecânico de peneiras;
- e) bandejas;
- f) escova ou pincel;
- g) fundo avulso de peneira.

A amostra utilizada no ensaio deve ser coletada conforme a NM 26/2001 (Agregados – Amostragem). A massa mínima utilizada no ensaio depende da dimensão máxima nominal do agregado, conforme a Tabela 2.

**Tabela 2 - Massa mínima por amostra de ensaio**

Dimensão máxima nominal do agregado (mm)	Massa mínima da amostra de ensaio (kg)
<4,75	0,3*
9,5	1
12,5	2
19	5
25	10
37,5	15
50	20
63	35
75	60
90	100
125	300

\*Após secagem

Fonte: NBR NM 248 (2003, p. 3)

Separa-se duas amostras com a massa mínima indicada na Tabela 2, que devem ser secas na estufa, para posteriormente tomar-se as massas  $m_1$  e  $m_2$ .

Coloca-se então uma amostra no conjunto formado pelas peneiras fundo e tampa (Figura 33). É feita então a agitação mecânica ou manual. Pesa-se as massas retidas em cada peneira. A soma de todas as massas e do fundo não pode diferir mais que 0,3% da massa inicial. Repete-se o procedimento para a outra amostra.

A dimensão máxima obtida nas duas amostras deve ser necessariamente a mesma. Nas outras peneiras, a diferença entre as porcentagens não pode ultrapassar 4% de uma amostra para a outra. Caso isto ocorra, o ensaio de peneiramento deve ser repetido até atender às exigências.

É calculada a porcentagem média retida em cada peneira e determinado o módulo de finura, que consiste na soma das porcentagens retidas acumuladas nas peneiras da série normal, dividida por 100.



**Figura 33 - Conjunto de peneiras com fundo e tampa no agitador mecânico**



Fonte: Autora (2017)

A distribuição granulométrica dos agregados deve atender aos limites estabelecidos na NBR 7211/2009, conforme a Tabela 3 e a Tabela 4.

**Tabela 3 - Limites de distribuição granulométrica do agregado miúdo**

Peneira com abertura de malha (ABNT NBR NM ISSO 3310-1)	Porcentagem, em massa, retida acumulada			
	Limites inferiores		Limites superiores	
	Zona utilizável	Zona ótima	Zona ótima	Zona utilizável
9,5 mm	0	0	0	0
6,3 mm	0	0	0	7
4,75 mm	0	0	5	10
2,36 mm	0	10	20	25
1,18 mm	5	20	30	50
600 µm	15	35	55	70
300 µm	50	65	85	95
150 µm	85	90	95	100

NOTA 1 O módulo de finura da zona ótima varia de 2,20 a 2,90

NOTA 2 O módulo de finura da zona utilizável inferior varia de 1,55 a 2,20

NOTA 3 O módulo de finura da zona utilizável superior varia de 2,90 a 3,50

Fonte: NBR 7211 (2009, p. 5)

**Tabela 4 - Limites da composição granulométrica do agregado graúdo**

Peneira com abertura de malha (ABNT NBR NM ISSO 3310-1)	Porcentagem, em massa, retida acumulada				
	Zona granulométrica d/D <sup>a</sup>				
	4,75/12,5	9,5/25	29/31,5	25/50	37,5/75
75 mm	-	-	-	-	0-5
63 mm	-	-	-	-	5-30
50 mm	-	-	-	0-5	75-100
37,5 mm	-	-	-	5-30	90-100
31,5 mm	-	-	0-5	75-100	95-100
25 mm	-	0-5	5-25 <sup>b</sup>	87-100	-
19 mm	-	1-15 <sup>b</sup>	65 <sup>b</sup> -95	95-100	-
12,5 mm	0-5	40 <sup>b</sup> -65 <sup>b</sup>	92-100	-	-
9,5 mm	2-15 <sup>b</sup>	80 <sup>b</sup> -100	95-100	-	-
6,3 mm	40 <sup>b</sup> -65 <sup>b</sup>	92-100	-	-	-
4,75 mm	80 <sup>b</sup> -100	95-100	-	-	-
2,36 mm	95-100	-	-	-	-

<sup>a</sup> Zona granulométrica correspondente à menor (d) e maior (D) dimensões do agregado graúdo.

<sup>b</sup> Em cada zona granulométrica deve ser aceita uma variação de no máximo cinco unidades percentuais em apenas um dos limites marcados com 2). Essa variação pode também estar distribuída em vários desses limites.

Fonte: NBR 7211 (2009, p. 7)

### 3.1.2 Substâncias nocivas

Foram realizados os ensaios normatizados pelas normas NBR 7218/2010 (Agregados - Determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis) e NBR NM 46/2003 (Agregados – Determinação do material fino que passa através da peneira 75 µm, por lavagem), com o objetivo de verificar a quantidade de substâncias nocivas presente nos agregados, os quais não devem exceder os seguintes limites, conforme a NBR 7211/2009:

- Torrões de argila e materiais friáveis:
  - Agregado miúdo: 3%
  - Agregado graúdo:
    - Concreto aparente: 1%
    - Concreto sujeito a desgaste superficial: 2%
    - Outros concretos: 3%

- Material fino que passa através da peneira 75 µm por lavagem (material pulverulento):
  - Agregado miúdo:
    - Concreto submetido a desgaste superficial: 3%
    - Concretos protegidos do desgaste superficial: 5%
  - Agregado graúdo: 1% ou 6,5% (em casos de agregados com distribuição granulométrica constituída por agregados graúdos e miúdos, seja por britagem de rocha ou por mistura intencional de agregados britados e areia natural).

### *3.1.2.1 Teor de argila em torrões e materiais friáveis*

Para a determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis, a NBR 7218/2010 recomenda que primeiramente seja determinada a composição granulométrica dos agregados, conforme a ABNT NBR NM 248/2003. A massa mínima de amostra para o ensaio deve respeitar os intervalos granulométricos mostrados na Tabela 5. Os intervalos que representam menos de 5% da amostra total não precisam ser ensaiados.

Os materiais utilizados nesse ensaio são:

- a) balança;
- b) estufa capaz de manter a temperatura entre 100°C e 110°C;
- c) peneiras da série normal (75 – 37,5 – 19 – 9,5 – 4,75 – 2,36 – 1,18mm – 600 – 300 – 150µm);
- d) bandejas metálicas com dimensões que permitam espalhar a amostra em uma camada delgada.

Após a separação da amostra conforme as massas indicadas na Tabela 5, espalha-se as porções de cada intervalo nas bandejas. Cobre-se então a amostra com água (Figura 34), deixando-a em repouso por 24 horas. Após isto, identifica-se as partículas que formaram torrões de argila e materiais friáveis. Estas partículas devem ser pressionadas entre os dedos para serem desfeitas. Em seguida, passa-se a amostra de cada intervalo em uma peneira correspondente, conforme indicado na Tabela 5 e procede-se o peneiramento do material por via úmida, a fim de ocorrer a remoção das partículas de argila e materiais friáveis.

**Tabela 5 - Intervalos granulométricos e massas mínimas de amostra para o ensaio e peneiras para remoção das partículas de argila e materiais friáveis**

Intervalos granulométricos a serem ensaiados mm	Massa mínima de amostra para ensaio de cada intervalo granulométrico g	Abertura das peneiras
≥1,18 e <4,75	200	600 μm
≥4,75 e <9,5	1000	2,36 mm
≥9,5 e <19,0	2000	4,75 mm
≥19,0 e <37,5	3000	4,75 mm
≥37,5	5000	4,75 mm

Fonte: Adaptada da NBR 7218 (2010, p. 2)

**Figura 34 - Amostras de areia e brita cobertas com água**



Fonte: Autora (2017)

O teor de argila em torrões e materiais friáveis de cada intervalo é determinado pela Equação (1):

$$mt = \frac{mi - mf}{mi} \times 100 \quad (1)$$

onde:

mt – teor de argila e materiais friáveis (%);

mi – massa inicial do intervalo granulométrico (g);

mf – massa após peneiramento via úmida (g).

Calcula-se então o teor parcial de argila em torrões e materiais friáveis multiplicando a porcentagem em cada intervalo (mt) pela porcentagem de material individual retida desse intervalo, dividida por 100. Os intervalos que não foram ensaiados também devem ser considerados no cálculo, atribuindo-se a mesma porcentagem de torrões de argila e

materiais friáveis presentes no intervalo granulométrico imediatamente superior ou inferior a eles.

O teor de argila em torrões e materiais friáveis presentes na amostra total é definido pelo somatório dos teores parciais.

### 3.1.2.2 *Materiais finos que passam através da peneira 75 µm por lavagem*

Para a determinação dos materiais finos que passam na peneira 75 µm, a massa da amostra a ser ensaiada é definida de acordo com a dimensão máxima nominal do agregado, conforme a Tabela 6 da NBR NM 46/2003.

**Tabela 6 - Massa mínima da amostra de ensaio**

Dimensão máxima nominal mm	Massa mínima g
2,36	100
4,75	500
9,5	1 000
19	2 500
37,5 ou superior	5 000

Fonte: NBR NM 46 (2003, p. 3)

Os materiais utilizados são:

- a) balança;
- b) jogo de peneiras cuja a inferior tenha abertura de malha de 75 µm e a superior 1,18mm;
- c) recipiente de tamanho suficiente para conter amostra coberta com água e permitir sua agitação;
- d) estufa capaz de manter a temperatura entre 100°C e 110°C;
- e) dois recipientes de vidro das mesmas dimensões.

Após secar a amostra em estufa, determina-se a massa inicial de ensaio. A amostra é então colocada em um recipiente e adiciona-se água até cobri-la. Agita-se então a amostra para obter a completa separação de todas as partículas mais finas que 75 µm das maiores e para que o material fino fique em suspensão. A água de lavagem é então transportada sobre as peneiras, organizadas com a maior em cima. Adiciona-se novamente água à amostra, agitando

e passando pelas peneiras após a lavagem. Esta operação é repetida até a água ficar clara, utilizando os recipientes de vidro para compará-la antes e depois.

Todo o material retido nas peneiras é retornado para um recipiente e colocado na estufa para secagem. Pesa-se a amostra seca e anota-se o resultado da massa final.

A quantidade de material que passa da peneira 75  $\mu\text{m}$  é calculada conforme a Equação (2):

$$m = \frac{m_i - m_f}{m_i} \times 100 \quad (2)$$

onde:

m – porcentagem de material mais fino que a peneira de 75  $\mu\text{m}$  por lavagem;

$m_i$  – massa original da amostra seca (g);

$m_f$  – massa da amostra seca após lavagem (g).

### 3.1.3 Índice de forma dos grãos de agregado graúdos

Segundo a NBR 7211, o índice de forma dos grãos consiste na “média da relação entre o comprimento e a espessura dos grãos do agregado, ponderada pela quantidade de grãos de cada fração granulométrica que o compõe. Este índice não deve ser superior a 3. A sua determinação é normatizada pela NBR 7809/2005 – Determinação do índice de forma pelo método do paquímetro – Método de ensaio.

Para a realização deste ensaio, necessita-se de:

- a) peneiras da série normal (75 – 37,5 – 19 – 9,5 – 4,75 – 2,36 – 1,18mm – 600 – 300 – 150 $\mu\text{m}$ ) e intermediária (63 – 50 – 31,5 – 25 – 12,5 – 6,3mm);
- b) paquímetro;
- c) estufa capaz de manter a temperatura entre 100°C e 110°C;

A quantidade mínima de material é definida pela Tabela 7:

**Tabela 7 - Quantidade mínima de material para ensaio**

Fração granulométrica (abertura da peneira)	Massa mínima da amostra inicial (kg)
$\leq 19 \text{ mm}$	5
$> 19 \text{ mm e } \leq 25 \text{ mm}$	10
$> 25 \text{ mm e } \leq 37,5 \text{ mm}$	15
$> 37 \text{ mm}$	20

Fonte: NBR 7809 (2005)

A amostra é então seca em estufa. Realiza-se a análise granulométrica conforme a NBR NM 248/2003. Despreza-se as frações passantes na peneira de 9,5 mm e aquelas nas quais as porcentagens retidas individuais sejam iguais ou menores que 5%.

Cada fração deve ser quarteada até a obtenção de um número de grãos obtidos pela Equação (3).

$$N_i = \frac{200}{\sum_{i=1}^n F_i} \quad (3)$$

onde:

200 é o número de grãos necessários para a realização do ensaio;

$N_i$  – o número de grãos a serem medidos na fração  $i$ ;

$F_i$  – porcentagem de massa retida individual na fração  $i$ .

Mede-se então o comprimento “ $c$ ” e a espessura “ $e$ ” de cada grão para cada fração. O índice de forma de cada uma das frações é calculado pela média das relações  $c/e$  de todos os grãos medidos.

#### 3.1.4 Desgaste

O índice de desgaste deve ser inferior a 50%, conforme a NBR 7211. Ele é determinado pela NBR NM 51 - Agregado graúdo – Ensaio de abrasão “Los Angeles”.

Para a realização do referido ensaio, são necessários os seguintes aparelhos e materiais:

- a) máquina “Los Angeles”;
- b) esferas de ferro ou aço com 48 mm de diâmetro e massa entre 390 g e 445 g;
- c) balança;
- d) estufa;
- e) jogo de peneiras com aberturas de 75 – 63 – 50 – 37,5 – 25 – 19,0 – 12,5 – 9,5 – 6,3 – 4,75 – 2,36 – 1,70 mm;
- f) bandeja metálica de, aproximadamente, 700x500x50 mm;
- g) colher ou pá;
- h) escova de fibra.

A amostra deve ser obtida separando diferentes frações do agregado por peneiramento, conforme a Tabela 8, considerando-se a dimensão máxima do agregado para determinar qual será a faixa de estudo. Cada fração é lavada separadamente e depois seca em

estufa. Após esta etapa, pesa-se as quantidades obtidas de forma a completar a massa total definida na Tabela 8. Em seguida as amostras são misturadas entre si.

**Tabela 8 - Graduação pra ensaio de abrasão à "Los Angeles"**

Peneiras (abertura) mm		Amostra - Massa parcial (g)						
Material		Graduação						
Passa	Retido	A	B	C	D	E	F	G
75	63					2 500 ± 50		
63	50					2 500 ± 50		
50	37,5					5 000 ± 50	5 000 ± 50	
37,5	25	1 250 ± 25					5 000 ± 25	5 000 ± 25
25	19	1 250 ± 25						5 000 ± 25
19	12,5	1 250 ± 10	2 500 ± 10					
12,5	9,5	1 250 ± 10	2 500 ± 10					
9,5	6,3			2 500 ± 10				
6,3	4,75			2 500 ± 10				
4,75	2,36				5 000 ± 10			
Massas totais (g)		5 000 ± 10	5 000 ± 10	5 000 ± 10	5 000 ± 10	10 000 ± 100	10 000 ± 75	10 000 ± 50
Número de rotações do tambor		500	500	500	500	1 000	1 000	1 000

Fonte: NBR NM 51 (2001)

Coloca-se a amostra obtida dentro do tambor da máquina "Los Angeles" junto com a carga abrasiva (esferas) (Figura 35). A quantidade de esferas é determinada de acordo com a graduação: graduações A, E, F e G – 12 esferas; graduação B – 11 esferas; graduação C – 8 esferas; graduação D – 6 esferas.



**Figura 35 - Amostra com carga abrasiva**



Fonte: Autora (2017)

Fazer o tambor (Figura 36) girar a uma velocidade entre 30 rpm e 33 rpm, até completar o número de rotações estabelecido pela Tabela 8. O material deve então ser retirado do tambor e peneirado na peneira de 1,7 mm. A fração retida deve ser lavada e seca na estufa, e por fim pesada.

**Figura 36 - Máquina de abrasão a "Los Angeles"**



Fonte: Autora (2017)

A porcentagem de perda por abrasão é obtida através da Equação (4):

$$P = \frac{m-m_1}{m} \times 100 \quad (4)$$

onde:

P – perda por abrasão (%);

m – massa da amostra seca antes de ser posta na máquina;

m1 – massa do material retido na peneira de 1,7 mm.

### 3.1.5 Ensaios especiais

Em alguns casos, podem ser exigidos alguns requisitos específicos, determinados pelo consumidor. Alguns desses ensaios determinam propriedades físicas como massa específica, absorção de água, umidade, etc.

Neste trabalho, foram realizados os ensaios de massa específica para os agregados miúdos e graúdos.

#### 3.1.5.1 Massa específica dos agregados miúdos

A norma utilizada para a realização do ensaio foi a NBR 9776/1987 – (Agregados – Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman).

Para realização do ensaio, é necessário uma balança e um frasco de vidro composto de dois bulbos e de um gargalo graduado, no qual o estrangulamento existente entre os dois bulbos deve haver um traço correspondente a 200 cm<sup>3</sup>, e acima dos bulbos o tubo graduado de 375 cm<sup>3</sup> a 450 cm<sup>3</sup>.

O procedimento usado para tal ensaio é: colocar água no frasco até marca de 200 cm<sup>3</sup>, deixando-o em repouso para que a água aderida às faces internas escorram totalmente. Em seguida, cuidadosamente, 500 g de agregado miúdo seco são introduzidos no frasco, o qual deve ser devidamente agitado para eliminação das bolhas de ar. A leitura do nível atingido pela água no gargalo do frasco indica o volume ocupado pelo conjunto água-agregado miúdo, alertando-se para que as faces internas estejam completamente secas e sem grãos aderentes. A Figura 37 apresenta a realização do ensaio com os agregados dentro do frasco com água.

**Figura 37 - Realização do ensaio de densidade de agregados miúdos**



Fonte: Autora (2017)

A massa específica é obtida pela Equação (5):

$$\gamma = \frac{500}{L-200} \quad (5)$$

onde:

$\gamma$  – massa específica do agregado miúdo ( $\text{g}/\text{cm}^3$ );

L – leitura do frasco (volume ocupado pelo conjunto água-agregado miúdo).

### 3.1.5.2 Massa específica dos agregados graúdos

A determinação da massa específica dos agregados graúdos é regida pela norma NBR NM 53/2009 – Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Porém, o método utilizado foi uma adaptação da mesma.

Foram utilizados: um recipiente para conter a amostra, constituído de um cesto de arame com abertura de malha igual ou inferior a 3,35 mm, que deve impedir a perda de material ou a retenção de ar quando submerso; um recipiente para conter a água onde será submerso o cesto; e peneira com abertura 4,75 mm.

Para a amostra de ensaio, deve-se eliminar o material passante pela peneira 4,75 mm. Lava-se então completamente o agregado para remover o pó. Seca-se a amostra em

estufa e deixa-se esfriar à temperatura ambiente. A massa mínima de amostra é definida pela Tabela 9.

**Tabela 9 - Massa mínima de amostra de ensaio para determinação da massa específica dos agregados graúdos**

Dimensão máxima característica	Massa mínima da amostra de ensaio
mm	Kg
12,5	2
19,0	3
25,0	4
37,5	5
50	8
63	12
75	18
90	25
100	40
112	50
125	75
150	125

Fonte: NBR NM 53/2009

Pesa-se a amostra e a seguir submerge-se o agregado em água à temperatura ambiente por 24 h. Posteriormente, a amostra deve ser envolvida em um pano absorvente até que a água aparente seja eliminada. Imediatamente após ser enxuto, o agregado é pesado na condição saturado com superfície seca (ms).

A amostra é então colocada no cesto e submergida no recipiente com água, pesando-a em água, sendo o recipiente contendo água e o cesto imerso nele previamente zerados em cima da balança, conforme a Figura 38. Este valor corresponde ao volume deslocado (vd). A amostra é então seca na estufa e em seguida pesada na condição de agregado seco (m).

O cálculo da massa específica do agregado seco é feito através da Equação (6):

$$d = \frac{m}{vd} \quad (6)$$

onde:

d – massa específica do agregado seco (g/cm<sup>3</sup>);

m – massa da amostra seca (g);

vd – volume deslocado (cm<sup>3</sup>).

**Figura 38 - Recipiente com água e cesto zerados na balança**



Fonte: Autora (2017)

### **3.2 Ensaios de aceitação das peças de concreto**

A NBR 9781/2013 (Peças de concreto para pavimentação – Especificações e métodos de ensaio) apresenta algumas exigências que devem ser atendidas pelas PPC. Nos subitens a seguir, serão apresentados os requisitos e os ensaios realizados para verificações dos mesmos.

#### **3.2.1 Dimensões e tolerâncias**

Segundo a NBR 9781 (2013, p. 4), a medida nominal do comprimento das PPC deve ser de no máximo 250 mm, já a da espessura 60 mm no mínimo, para qualquer tipo de peça. A medida real da largura deve ser de no mínimo 97 mm. Há uma tolerância de  $\pm 3$  mm para as dimensões da peça. O índice de forma (relação entre o comprimento e a espessura) das PPC deve ser menor ou igual a 4.

Para a verificação destes requisitos, é realizado o ensaio de avaliação dimensional, que consiste na medição das dimensões das peças utilizando um paquímetro (Figura 39). A medição deve ser feita sempre em planos paralelos às arestas da peça. São avaliadas 6 peças por lote de fabricação de 300 m<sup>2</sup>, com uma peça adicional para cada 50 m<sup>2</sup> a mais, até totalizar no máximo 32 peças.

**Figura 39 - Medição das PPC**



Fonte: Autora (2017)

### 3.2.2 Aspectos gerais

A partir da realização do ensaio de inspeção visual são avaliados os seguintes requisitos: as PPC devem obrigatoriamente ter espaçadores de juntas; os chanfros devem apresentar projeção horizontal e vertical entre 3 mm e 6 mm; as arestas tem que ser regulares em todas as faces; os ângulos de inclinação da peça devem ser igual a 90°; as peças devem ser livres de rebarbas, defeitos e descamação. O lote pode ser rejeitado quando o lote tiver mais de 5% de peças defeituosas.



A quantidade mínima de peças para o ensaio é de 6 por lote de fabricação de 300 m<sup>2</sup>, com uma peça adicional para cada 50 m<sup>2</sup> suplementar, totalizando no máximo 32 peças.

### 3.2.3 Resistência à compressão

A NBR 9781/2013 determina que a resistência característica à compressão das PPC, aos 28 dias, deve ser maior ou igual a 35 MPa (quando utilizada para tráfego de pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linha) ou maior ou igual a 50 MPa (quando utilizada para tráfego de veículos especiais e solicitações capazes de produzir efeitos de abrasão acentuados). Os lotes entregues com idade menor que 28 dias devem apresentar, no momento da instalação, pelo menos 80% da resistência final.

Para a determinação da resistência à compressão, é feito o ensaio na prensa posicionando o eixo da PPC (na região de largura mínima 97 mm) centrado ao da máquina (Figura 40). São utilizadas placas auxiliares de aço de diâmetro de  $85 \pm 0,5$  mm e espessura mínima de 20 mm, que devem ser acopladas à máquina no prato superior e inferior de maneira que sua superfície entre em contato com a peça em seu eixo central.

**Figura 40 - Realização do ensaio de Resistência à Compressão**



Fonte: Autora (2017)

São utilizadas no mínimo 6 peças por cada lote de fabricação de 300 m<sup>2</sup>, adicionando uma peça para cada 50 m<sup>2</sup> a mais, até completar no máximo 32 peças. Elas peças devem estar saturadas em água por no mínimo 24 h antes do ensaio. As superfícies superior e inferior devem ser ratificadas por capeamento.

O resultado da resistência à compressão é dado em megapascals (MPa) dividindo-se a carga de ruptura pela área de carregamento. Este resultado é multiplicado pelo fator multiplicativo  $p$ , conforme a Tabela 10.

**Tabela 10 - Fator multiplicativo  $p$**

Espessura nominal da peça mm	$p$
60	0,95
80	1
100	1,05

Fonte: NBR 9781 (2013, p. 11)

O valor característico estimado do lote é dado pela Equação (7):

$$f_{pk, est} = f_p - t \times s \quad (7)$$

sendo

$$s = \sqrt{\frac{\sum (f_p - f_{pi})^2}{n-1}} \quad (8)$$

onde:

$f_p$  – resistência média das peças (MPa);

$f_{pi}$  – resistência individual das peças (MPa);

$f_{pk, est}$  – resistência característica estimada à compressão (MPa);

$n$  – número de peças;

$s$  – desvio padrão (MPa);

$t$  – coeficiente de Student dado na Tabela 11 em função da quantidade de peças da amostra.



**Tabela 11 - Coeficiente de Student (nível de confiança de 80%)**

n	t
6	0,920
7	0,906
8	0,896
9	0,889
10	0,883
12	0,876
14	0,87
16	0,866
18	0,863
20	0,861
22	0,559
24	0,858
26	0,856
28	0,855
30	0,854
32	0,842

Fonte: NBR 9781 (2013, p. 12)

### 3.2.4 Absorção de água

Segundo a NBR 9781 (2013, p. 6), “a amostra de peças de concreto deve apresentar absorção de água com valor médio menor ou igual a 6%, não sendo admitido nenhum valor individual maior o que 7%”.

Para determinar a absorção de água das PPC, são utilizadas 3 peças de concreto inteiras. Primeiramente remove-se todo pó e partículas soltas no corpo de prova utilizando-se uma escova. Após isso, emergem-se as peças em um tanque com água. Passadas 24 h, as peças são colocadas sobre uma tela metálica (Figura 41) por 1 minuto e então se pesa cada uma. A água superficial visível deve ser removida com um pano. Este procedimento é repetido a cada 2 h até que em duas determinações seguidas não seja anotada diferença de massa maior que 0,5% em relação ao valor anterior. O último valor encontrado é dado como m2.

**Figura 41 - Corpos de prova sobre tela metálica**



Fonte: Autora (2017)

A próxima etapa é levar os corpos de prova saturados à estufa com temperatura entre 105°C e 115°C por 24 h. Pesa-se então cada corpo de prova na condição seca. Repete-se o procedimento a cada 2 h até não se registrar em duas determinações sucessivas diferença superior a 0,5%. O último valor é anotado como m1.

A absorção é calculada pela Equação (9):

$$A = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100 \quad (9)$$

onde:

A – absorção em cada corpo de prova (%);

m1 – massa do corpo de prova seco (g);

m2 – massa do corpo de prova saturado (g).

### 3.2.5 Resistência à abrasão

Este ensaio é facultativo. Porém, quando solicitado, deve ser realizado com no mínimo 3 peças para cada lote de 300 metros quadrados (m<sup>2</sup>), atendendo às seguintes especificações: para solicitações de tráfego de pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linha, a cavidade máxima deve ser de 23 mm; para tráfego de veículos especiais e solicitações capazes de produzir efeitos de abrasão acentuados, a cavidade máxima deve ser de 20 mm (NBR, 2013, p. 7).

O ensaio consiste em colocar o corpo de prova em um dispositivo de abrasão contendo um disco de aço com diâmetro de 200 mm e espessura 70 mm, e um funil para alimentação de material abrasivo.

O corpo de prova é posicionado no equipamento e então o material abrasivo é derramado sobre ele, enquanto o disco gira sobre o corpo de prova. É medida então o comprimento da cavidade na amostra, colocando o corpo de prova embaixo de uma lente de aumento.

### 3.3 Dimensionamento do pavimento intertravado

#### 3.3.1 Caracterização do solo do subleito

##### 3.3.1.1 Granulometria

A granulometria do solo foi feita por peneiramento, conforme o DNER – ME 080/94 – Solos – Análise granulométrica por peneiramento.

Os materiais utilizados para este ensaio são:

- a) peneiras de malha 50 – 38 – 25 – 20 – 15 – 10 – 7,5 – 5 – 3,75 – 2,5 – 1,75 – 1,25 – 0,85 – 0,6 – 0,425 – 0,3 – 0,15 – 0,075 mm, com fundo e tampa;
- b) agitador de peneiras;
- c) repartidor de amostra;
- d) balança;
- e) estufa capaz de manter a temperatura entre 105°C e 110°C;
- f) cápsulas de alumínio.

Da amostra total, após secagem ao ar, são separadas 2000 g para a realização da granulometria utilizando-se o repartidor de amostra. Do restante do material, separa-se cerca de 50 g de solo que passa na peneira 2,00 mm para a determinação da umidade higroscópica, conforme a Equação (10):

$$h = \frac{Ph - Ps}{Ps} \times 100 \quad (10)$$

onde:

h – teor de umidade (%);

Ph – peso do solo úmido;

Ps – peso do solo seco em estufa.

A amostra de solo de 2000 g é então lavada nas peneiras de 2,00 mm e 0,075 mm até que a água de lavagem fique limpa. O material retido em cada peneira (Figura 42) é transferido para um recipiente e levado para a estufa. Com a amostra seca (Figura 43), procede-se o peneiramento na série de peneiras apresentadas no item a), pesando-se a amostra retida em cada peneira. Com os dados obtidos é possível a concepção da curva granulométrica do solo.

**Figura 42 - Amostras de solo retidas nas peneiras 2,00 mm e 0,075 mm (respectivamente)**



Fonte: Autora (2017)

**Figura 43 - Amostras de solo secas para caracterização granulométrica**



Fonte: Autora (2017)

### 3.3.1.2 Limites de Consistência

Estes limites permitem avaliar a plasticidade do solo, que consiste na maior ou menor capacidade do solo ser moldado sem variação de volume sob certas condições de umidade (DNIT, 2006, p. 35).

### 3.3.1.2.1 Limite de Plasticidade

Este ensaio é normatizado pelo DNER-ME 082/94 (Solos – Determinação do limite de plasticidade). Utiliza-se os seguintes materiais:

- a) balança;
- b) cápsulas de alumínio;
- c) cápsula de porcelana com capacidade de 500 ml;
- d) cilindro de comparação de 3 mm de diâmetro e cerca de 10 cm de comprimento;
- e) estufa capaz de manter a temperatura entre 105° e 110° C;
- f) espátula com lâmina flexível;
- g) placa de vidro de superfície esmerilhada.

Para este ensaio, utiliza-se cerca de 50 g de material que passa na peneira de malha 0,42 mm. Coloca-se a amostra na cápsula e adiciona-se água destilada até se obter uma massa plástica homogênea.

Separa-se cerca de 20 g da massa (Figura 44) e em seguida modela-o através de rolamento um cilindro de diâmetro de aproximadamente 3 mm, utilizando o cilindro de comparação como parâmetro (Figura 45). Quando for atingido o diâmetro, a amostra é quebrada em seis ou oito pedaços e amassada, repetindo o processo de rolamento até que o cilindro se desagregue e não seja mais possível formar outro cilindro. Os fragmentos são transferidos para o recipiente e determina-se a umidade pela Equação (10).

**Figura 44 - Preparação para o ensaio**



Fonte: Autora (2017)

**Figura 45 - Moldagem dos cilindros**

Fonte: Autora (2017)

Repete-se as operações até que se obtenham valores que não difiram mais de 5% da média. O limite de plasticidade (LP) é dado pela média aritmética das umidades encontradas.

#### 3.3.1.2 Limite de Liquidez

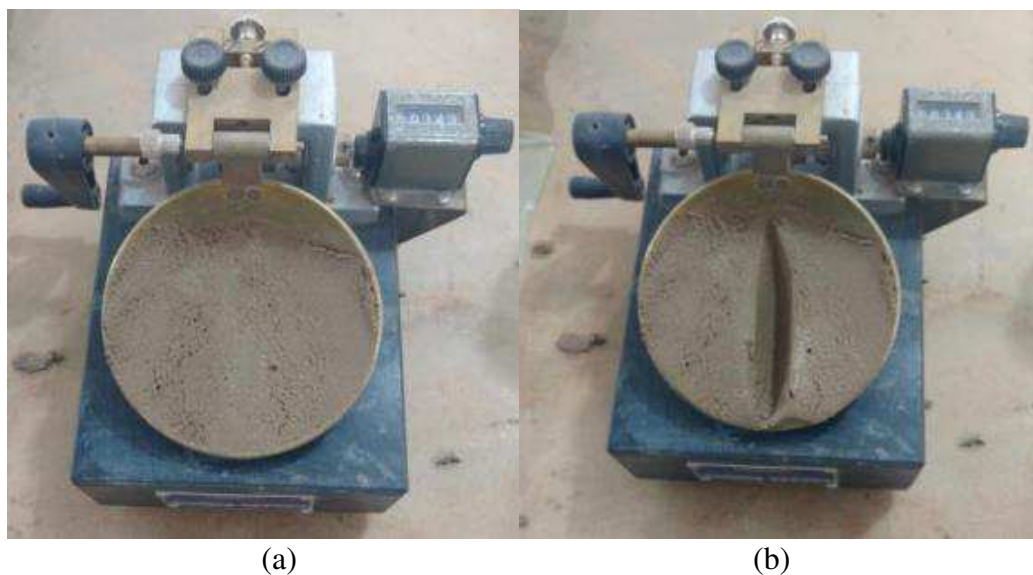
Este ensaio é regulamentado pela DNER-ME 122/94 (Solos – Determinação do limite de liquidez – Método de referência e método expedito). O ensaio é feito utilizando-se os seguintes aparelhos:

- a) aparelho de Casgrande;
- b) balança;
- c) cápsulas de alumínio;
- d) cápsula de porcelana;
- e) cinzel com seção padronizada;
- f) espátula com lâmina flexível;
- g) estufa capaz de manter a temperatura entre 105°C e 110°C.

Utiliza-se uma amostra de cerca de 70 g de material que passa na peneira 0,42 m. a seguir. Acrescenta-se aproximadamente 15 a 20 cm<sup>3</sup> de água na amostra de solo, homogeneizando-a dentro da cápsula de porcelana. Uma porção da mistura é então colocada no aparelho até ocupar aproximadamente 2/3 de sua superfície, com 1 cm de espessura (Figura 46a). Passa-se a espátula no meio da concha a fim de formar uma canelura. Com a

manivela do aparelho, golpeia-se a concha contendo massa de solo até que as duas bordas inferiores do sulco se unam (Figura 46b).

**Figura 46 - Realização do ensaio de Limite de Liquidez**



Fonte: Autora (2017)

É transferida uma parte do material colhida de ambos os lados da canelura para a cápsula de alumínio, a fim da obtenção de sua umidade de acordo com a Equação (10). Retira-se então o solo da concha e mistura-o de volta com o material na cápsula de porcelana, repetindo as operações pelo menos 3 vezes, acrescentando água gradativamente à mistura.

Os valores que devem ser anotados são: o número de golpes dados no aparelho e a umidade de cada amostra. Estes pontos são então lançados em um gráfico no qual as abscissas são os teores de umidade e as ordenadas são os números de golpe. O limite de liquidez (LL) é dado pelo valor da umidade no ponto da reta correspondente a 25 golpes.

### 3.3.1.2.3 Índice de Plasticidade

Segundo o DNIT (2006, p. 35), o índice de plasticidade define a zona em que o solo se encontra no estado plástico. Esta propriedade é função da quantidade de argila presente no solo. Ele é dado pela diferença entre o limite de liquidez (LL) e o limite de plasticidade (LP). Quando o material não tem plasticidade é dado como não plástico (NP). A classificação segue os seguintes limites:

- a) solos fracamente plásticos:  $1 < IP < 7$

- b) solos medianamente plásticos:  $7 < IP < 15$
- c) solos altamente plásticos:  $IP > 15$

### 3.3.1.3 Compactação

O ensaio de compactação foi realizado com o objetivo de encontrar a umidade ótima e a densidade máxima do solo, conforme a norma DNIT 164/2013 – ME (Solos – Compactação utilizando amostras não trabalhadas – Método de Ensaio), utilizando-se os seguintes materiais:

- a) balança;
- b) cápsulas de alumínio;
- c) disco espaçador metálico de  $15,00 \pm 0,05$  cm de diâmetro e altura de  $6,35 \pm 0,02$  cm;
- d) molde cilíndrico metálico de  $15,24 \pm 0,05$  cm de diâmetro interno e  $17,78 \pm 0,02$  cm de altura, com cilindro complementar de mesmo diâmetro com base metálica com dispositivo de fixação do cilindro;
- e) soquete metálico de diâmetro  $5,08 \pm 0,01$  cm, pesando  $4,536 \pm 0,01$  kg, e com altura de queda igual a  $45,72 \pm 0,15$  cm;
- f) régua de aço biselada, rija, de cerca de 30 cm de comprimento;
- g) estufa com capacidade de manter a temperatura a entre  $105^{\circ}\text{C}$  e  $110^{\circ}\text{C}$ .

A amostra de solo é seca ao ar, destorroada, homogeneizada e depois separada com o separador de amostras, até se obter uma amostra representativa de 7000 g. Adiciona-se água à amostra até se obter uma consistência homogênea (Figura 47). Em seguida o solo é compactado no molde com o disco espaçador como fundo falso, em cinco camadas iguais (Figura 48). Aplica-se em cada camada golpes com o soquete metálico. Para solos de subleito, é utilizada a energia normal, na qual são dadas 12 golpes em cada camada. Quando a compactação estiver na camada intermediária, deve ser tomada uma porção de amostra do solo úmido para a determinação da umidade.

Remove-se então o cilindro complementar e rasa-se o material com a régua na altura exata do molde (Figura 49). Em seguida, é pesado o conjunto molde mais solo. Por subtração da massa do molde, determina-se a massa do material compactado.

Todas as operações são repetidas por pelo menos 5 vezes para teores crescentes de umidade, de maneira que se obtenha pelo menos 5 corpos de prova. Estes corpos de prova



foram utilizados para a determinação do Índice de Suporte Califórnia (ISC ou CBR), como será visto no próximo item.

**Figura 47 - Mistura da amostra com água**



Fonte: Autora (2017)

**Figura 48 - Compactação da amostra**



Fonte: Autora (2017)

**Figura 49 - Rasamento do corpo de prova**



Fonte: Autora (2017)

#### *3.3.1.4 Índice de Suporte Califórnia (ISC) ou California Bearing Ratio (CBR)*

Para a determinação do CBR, foi empregada a norma DNIT 172/2016 - ME (Solos – Determinação do Índice de Suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas – Método de ensaio).

Para a realização do ensaio, além dos materiais utilizados no ensaio de compactação utiliza-se ainda um tripé porta-extensômetro com dispositivo para fixação do extensômetro, prensa CBR/MARSHALL automática 220V/60Hz, haste de expansão e pesos anelares para sobrecarga total de 4,546 kg.

Os corpos de prova moldados no ensaio de compactação devem ser invertidos e fixados na base metálica. Em cada corpo de prova, no espaço deixado pelo disco espaçador, coloca-se a haste e os pesos anelares. Adapta-se a haste de expansão e o extensômetro na borda superior do cilindro, a fim de medir as expansões a cada 24 h.

Coloca-se os corpos de prova imersos em água por 96 h (Figura 50). Terminado esse período, cada molde é retirado da água. Deixa-se escorrer a água por 15 minutos. Ao final, o corpo de prova é colocado na prensa automática para a penetração (Figura 51).

**Figura 50 - Corpo de prova imerso no tanque**



Fonte: Autor (2017)

**Figura 51 - Realização do ensaio na prensa automática**



Fonte: Autora (2017)

A curva de pressão-penetração é traçada com os valores da penetração na abscissa e a pressão na ordenada, em escala logarítmica.

O CBR é dado pela Equação (11):

$$CBR = \frac{\textit{pressão calculada ou pressão corrigida}}{\textit{pressão padrão}} \times 100 \quad (11)$$

Na qual a pressão corrigida é dada quando for apresentado ponto de inflexão na curva. A correção é feita neste ponto através de uma tangente traçada nesse ponto, até que a mesma intercepte o eixo das abscissas. O valor da pressão corrigida será o valor representado na tangente mais o valor da curva original, mudando-se a origem para o ponto em que a tangente corta o eixo das abscissas. Soma-se a distância ente o ponto de interseção e a origem dos eixos às abscissas dos pontos correspondentes as penetrações de 2,54 mm e 5,08 mm.

A pressão padrão é de 70,31 Kg/cm<sup>3</sup> para a penetração de 2,54 mm e 105,16 Kg/cm<sup>3</sup> para 5,08 mm. O valor de CBR é o maior valor encontrado entre essas duas penetrações.

### 3.3.2 Classificação do solo

O DNIT (2006, p. 55) apresenta duas classificações para o solo. Neste trabalho, será utilizado o método *Transportation Research Board* (TRB), que o classifica em função da granulometria, limites de consistência e índice de grupo. A classificação está no Anexo A.

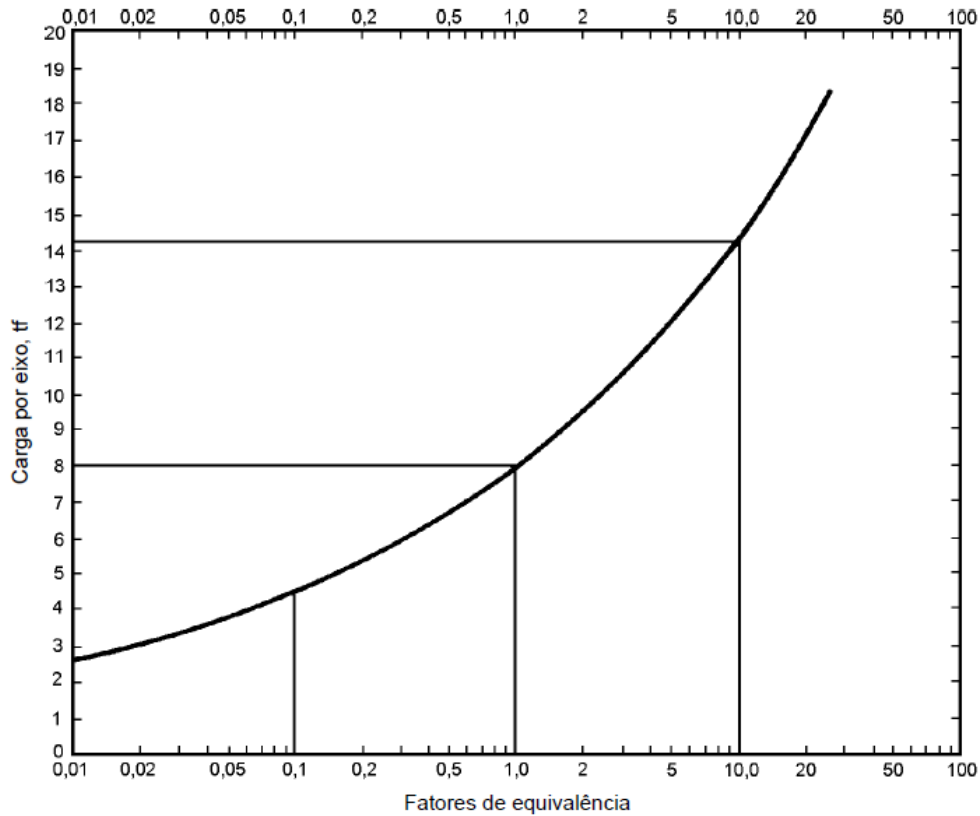
### 3.3.3 Método de dimensionamento

O método utilizado para o dimensionamento do pavimento estudado será o método proposto por Carvalho no Estudo Técnico 27 publicado pela ABCP (1998). Segundo o autor, é uma adaptação dos métodos concebidos por A.A. Lilley e B. J. Walker.

O gráfico apresentado na Figura 52 fornece um fator de equivalência que permite a transformação do número previsto de solicitações de uma determinada carga por eixo em um número equivalente de uma carga padrão de 8,2 tf por eixo simples, chamado de número “N”. Este fator deve ser multiplicado pelo número de solicitações diárias previstas para se obter o número equivalente de solicitações diárias de carga padrão.

Quando houver eixos de tandem duplos ou triplos, considera-se a carga total como dividida por 2 ou 3 eixos simples.

**Figura 52 - Gráfico do efeito relativo de diversas cargas por eixo simples**

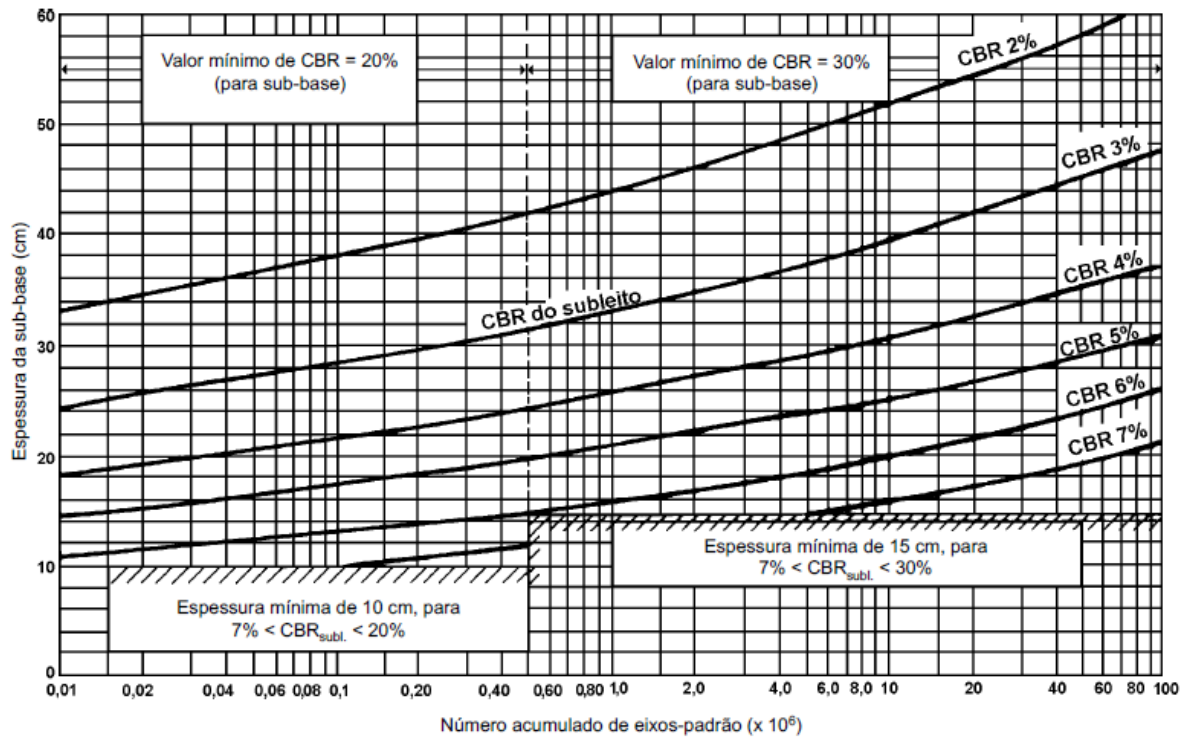


Fonte: Carvalho (1998, p. 21)

Em seguida, utiliza-se o gráfico da Figura 53 para determinar a espessura necessária da sub-base, que é fornecida em função do número N e do CBR do subleito.

Conforme Carvalho (1998, p. 21), o valor mínimo de CBR para o subleito é de 20% quando  $N < 0,5 \times 10^6$  e de 30% quando  $N \geq 0,5 \times 10^6$ . Quando  $N < 0,5 \times 10^6$  e o subleito apresentar CBR maior ou igual que 20%, não é necessária camada de sub-base. Se  $N \geq 0,5 \times 10^6$  e o CBR do subleito for maior ou igual a 30%, a camada de sub-base também pode ser dispensada.

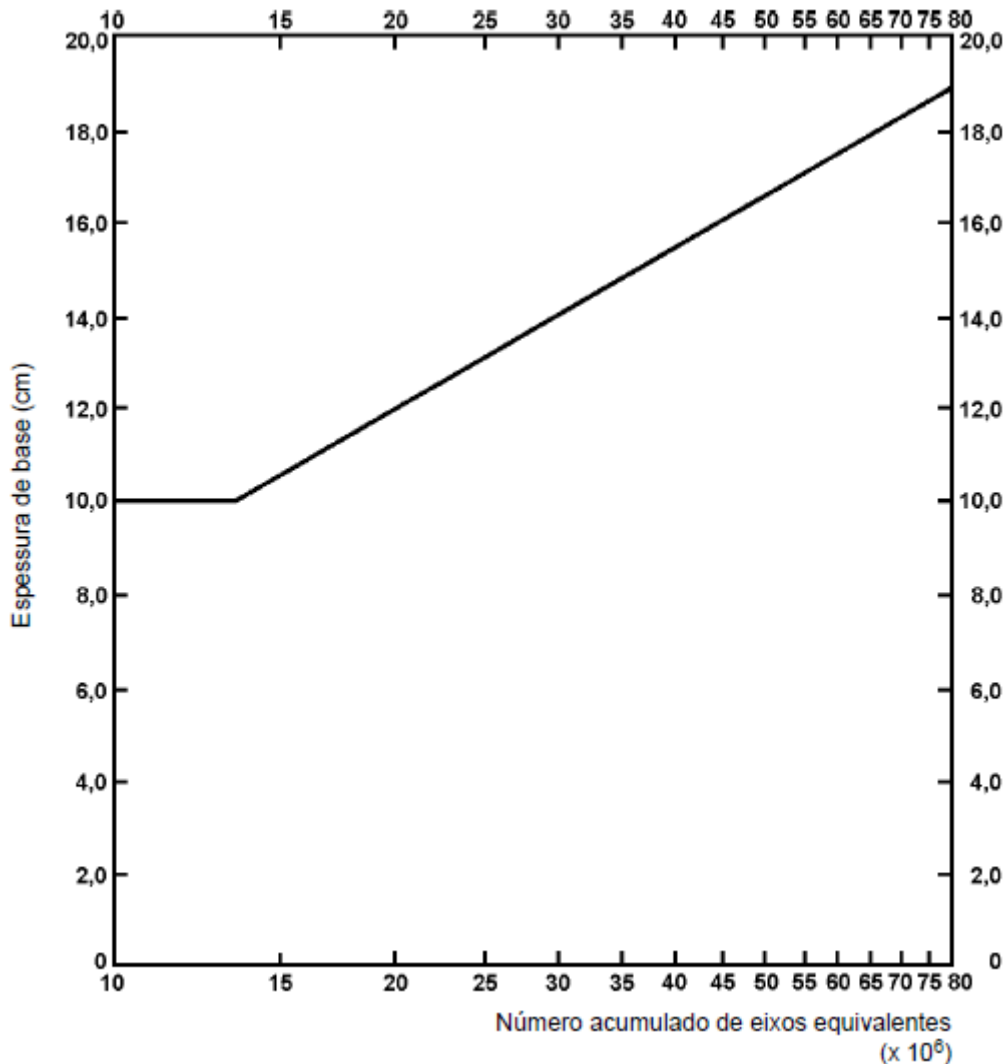
Figura 53 - Gráfico da espessura necessária de sub-base



Fonte: Carvalho (1998, p. 22)

Para a determinação da espessura da camada de base, utiliza-se o gráfico da Figura 54, que apresenta valores necessários para base de concreto rolado ou de solo-cimento. É importante observar que quando o número  $N$  for menor que  $1,5 \times 10^6$ , não é necessário camada de base. Ainda assim, recomenda-se o uso de uma camada de espessura mínima de 10cm quando o número  $N$  estiver entre  $1,5 \times 10^6$  e  $10^7$ .

Figura 54 - Gráfico da espessura necessária de base (concreto rolado ou solo-cimento)



Fonte: Carvalho (1998, p. 23)

Por fim é escolhida a espessura da peça de concreto. Consoante Carvalho (1998, p. 19):

No caso de ruelas ou becos sem saída, pequenos logradouros e pátios de estacionamento de automóveis, sujeitos a tráfego leve, pode-se usar peças com 6,0 cm de espessura. Para qualquer outro tipo de local sujeito a tráfego de veículos comerciais, recomenda-se a espessura mínima de 8 cm. A espessura de 10 cm é recomendada para áreas submetidas a tráfego de veículos especiais (portuárias, industriais etc.) ou vias urbanas, industriais e comerciais com tráfego muito pesado de veículos comerciais.



#### 4 ACOMPANHAMENTO DA FABRICAÇÃO E ASSENTAMENTO DE *PAVERS*

O acompanhamento da fabricação das PPC foi feito em uma indústria de artefatos de concreto situada em São Luís, a qual forneceu os blocos de concreto para execução dos ensaios, bem como amostras dos agregados utilizados em sua fabricação. Foi acordado entre a autora e a empresa que o nome da mesma não será divulgado.

Nesta fábrica, a produção é mecanizada com vibroprensa automática. Para a confecção dos *pavers*, utilizou-se areia e pó de brita como agregados miúdos e brita 0 como agregado graúdo. O cimento utilizado foi do tipo CP II-E-32 RS (cimento Portland composto com escória, de classe 32 e rápida secagem). Utilizou-se ainda um aditivo de cura rápida.

O lote acompanhado foi empregado para repor peças de concreto que apresentavam desgaste superficial, como pode ser observado nas Figuras 55 e 56, em um posto de gasolina de São Luís. Todo revestimento foi retirado e substituído pelas novas peças. Abaixo do colchão de areia, havia ainda um pavimento intertravado antigo, o qual não foi retirado.

Para a confecção das peças novas, foram utilizados os mesmos materiais que o das peças defeituosas, porém em traço diferente.

**Figura 55 – Pavimento com desgaste superficial**



Fonte: Autora (2017)



**Figura 56 - Pavimento com desgaste superficial – juntas preenchidas com argamassa**



Fonte: Autora (2017)

## **4.1 Fabricação das peças**

### 4.1.1 Ensaios nos agregados constituintes das PPC

#### 4.1.1.1 Granulometria da areia

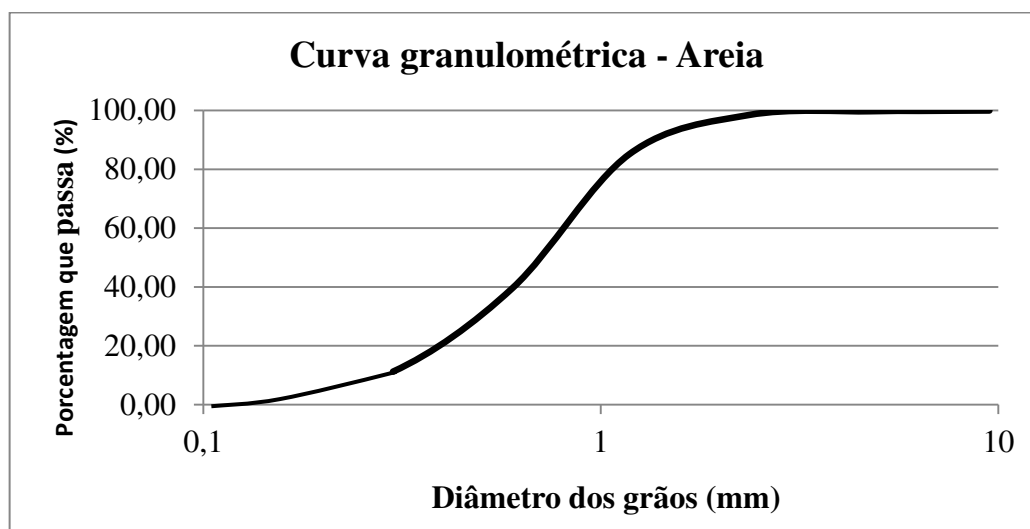
A areia apresentou graduação na zona utilizável superior, conforme os valores da Tabela 12, e módulo de finura de 2,63. O Gráfico 1 apresenta a curva granulométrica da areia. O Apêndice A apresenta todos os valores da granulometria.

**Tabela 12 – Granulometria da areia**

Peneira (mm)	Porcentagem retida acumulada (%)
9,5	0,00
6,3	0,13
4,75	0,25
2,36	1,52
1,18	14,85
0,6	60,35
0,3	88,80
0,15	97,66
Fundo	100,00

Fonte: Autora (2017)

Gráfico 1 - Curva granulométrica da Areia



Fonte: Autora (2017)

#### 4.1.1.2 Granulometria do pó de brita

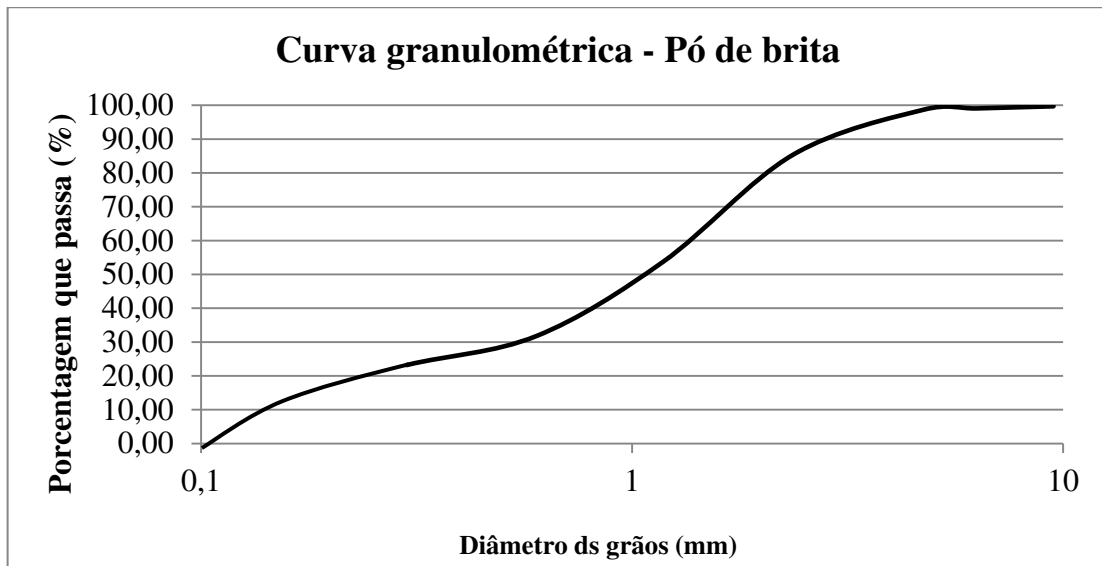
Apesar de ser considerado um agregado miúdo, o pó de brita apresentou porcentagens de massa retida nas peneiras de abertura 9,5 e 6,3mm. A granulometria deste agregado não se enquadrou em nenhuma das faixas apresentadas na NBR 7211/2009. O módulo de finura foi de 2,94. A Tabela 13 apresenta os resultados da granulometria e o gráfico 2 apresenta a curva granulométrica do material. A tabela completa está no Apêndice B.

Tabela 13 – Granulometria do pó de brita

Peneira (mm)	Porcentagem retida acumulada (%)
9,5	0,29
6,3	0,92
4,75	1,30
2,36	14,66
1,18	46,28
0,6	68,22
0,3	76,79
0,15	86,64
Fundo	100,00

Fonte: Autora (2017)

Gráfico 2 - Curva granulométrica do pó de brita



Fonte: Autora (2017)

#### 4.1.1.3 Granulometria da brita

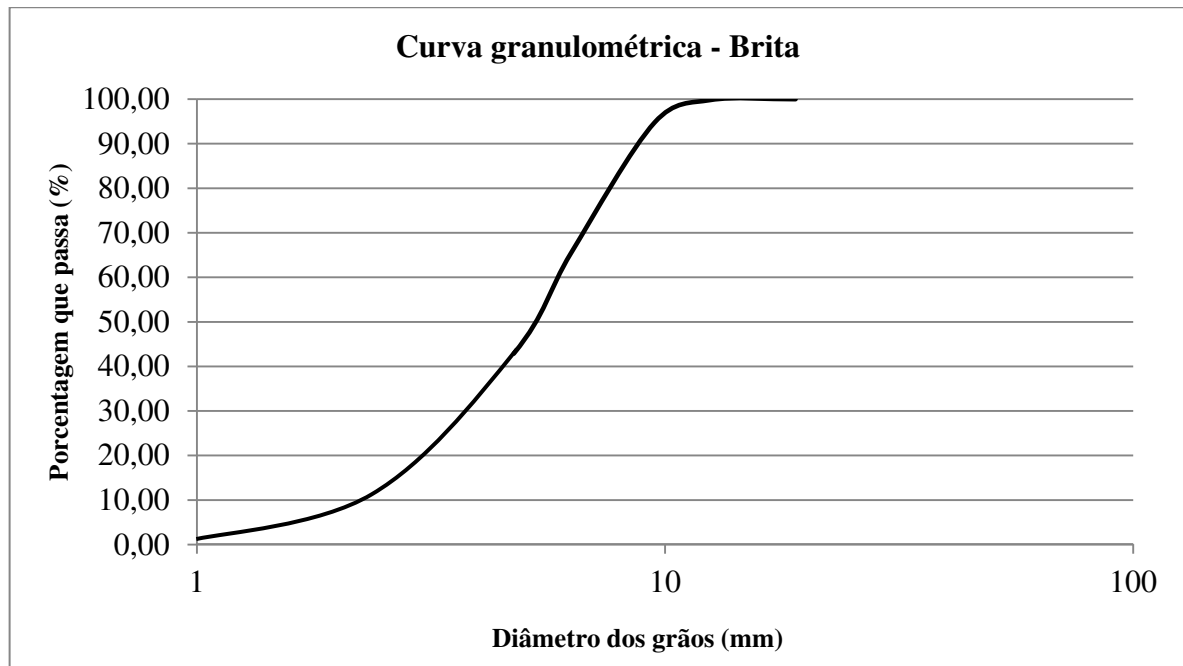
A composição granulométrica do agregado graúdo não se enquadrou na zona granulométrica desejada (4,75/12,5), conforme a Tabela 4 mostrada anteriormente. O módulo de finura foi de 2,09. A tabela 14 apresenta os resultados encontrados e a curva granulométrica é apresentada no Gráfico 3. No apêndice C estão expostos todos os valores encontrados.

**Tabela 14 – Resumo da granulometria da brita**

Peneira (mm)	Porcentagem retida acumulada (%)
19	0,00
12,5	0,19
9,5	5,19
6,3	34,51
4,75	57,13
2,36	89,52
Fundo	100,00

Fonte: Autora (2017)

Gráfico 3 - Curva granulométrica da brita



Fonte: Autora (2017)

#### 4.1.1.4 Substâncias nocivas

##### 4.1.1.4.1 Teor de argila e materiais friáveis na areia

O intervalo granulométrico ensaiado foi o  $\geq 1,18$  mm e  $< 4,75$  mm. A massa inicial foi de 200,02 g e a massa após o peneiramento via úmida foi de 199,61 g. Substituindo-se os valores na Equação (1), tem-se o teor de argila e materiais friáveis de 0,21%. O teor final foi de 0,03%, conforme a Tabela 15, atendendo assim ao limite estabelecido (3%).

**Tabela 15 - Resultado do teor de argila para areia**

Intervalo	Porcentagem retida (%)	Teor de argila (%)	Teor parcial de argila (%)
$\geq 4,75$ e $< 9,5$	0,25	0,21	0,00
$\geq 1,18$ e $< 4,75$	14,60	0,21	0,03
Teor global de Argila (%):			0,03

Fonte: Autora (2017)

#### 4.1.1.4.2 Teor de argila e materiais friáveis no pó de brita

A massa inicial obtida foi de 200,07 g e a final de 197,44 g, resultando em um teor de argila e materiais friáveis de 1,31%. O teor global de argila foi de 0,6%, conforme a Tabela 16. O material atendeu ao limite estabelecido.

**Tabela 16 - Resultado do teor de argila para pó de brita**

Intervalo	Porcentagem retida (%)	Teor de argila (%)	Teor parcial de argila (%)
$\geq 4,75$ e $< 9,5$	1,01	1,31	0,01
$\geq 1,18$ e $< 4,75$	44,98	1,31	0,59
Teor global de Argila (%):			0,60

Fonte: Autora (2017)

#### 4.1.1.4.3 Teor de argila e materiais friáveis na brita

Para este agregado foram ensaiados dois intervalos granulométricos:  $\geq 1,18$  mm e  $< 4,75$  mm e  $\geq 4,75$  mm e  $< 9,5$  mm. No primeiro intervalo, obteve-se massa inicial de 200,07 g e massa final de 196,5 g, sendo assim o teor de argila e materiais friáveis de 1,78%. No segundo intervalo, a massa inicial foi de 1000,2 g e a final de 992,6 g, resultando no valor de 0,75%.

O resultado final foi de 1,01%, conforme a Tabela 17. O limite estabelecido é de 2% por se tratar de concreto sujeito a desgaste superficial. Portanto, o agregado atendeu às condições exigidas.

**Tabela 17 - Resultado do teor de argila para brita**

Intervalo	Porcentagem retida (%)	Teor de argila (%)	Teor parcial de argila (%)
$\geq 9,5$ e $< 19,0$	5,19	0,75	0,04
$\geq 4,75$ e $< 9,5$	51,91	0,75	0,39
$\geq 1,18$ e $< 4,75$	32,39	1,78	0,58
Teor global de Argila (%):			1,01

Fonte: Autora (2017)

#### 4.1.1.4.4 Materiais finos que passam na peneira 75 $\mu\text{m}$

Conforme os resultados expostos na Tabela 18, o único material que se enquadrou nos limites estabelecidos pela norma foi a areia, uma vez que para concretos submetidos a desgaste superficial, como é o caso dos bloquetes intertravados, o valor máximo para agregados miúdos é de 3%. Para agregados graúdos, o limite é de 1%.

**Tabela 18 - Resultado do ensaio de materiais mais finos que passam na peneira 75  $\mu\text{m}$**

Material	Massa original da amostra seca (g)	Massa da amostra seca após lavagem (g)	Porcentagem do material menor que 75 $\mu\text{m}$ (%)
Areia	500,41	486	2,88
Pó de Brita	1001,3	842,1	15,90
Brita	1000,1	952,1	4,80

Fonte: Autora (2017)

#### 4.1.1.5 Índice de forma dos grãos de agregados graúdos

A NBR 7809 estabelece que devem ser desconsideradas as frações passantes na peneira de 9,5 mm e aquelas cujas porcentagens retidas individuais sejam menores ou iguais a 5%. Conforme a granulometria mostrada no Apêndice C, a porcentagem retida individual da peneira de 12,5 mm foi de 0,19% e na peneira de 9,5 mm foi de 5%, portanto, o ensaio não foi realizado.

#### 4.1.1.6 Desgaste dos agregados graúdos

O valor do índice de desgaste à abrasão do agregado graúdo (brita) foi de 14,32%, conforme a substituição da Equação (4) pelos valores de  $m = 4992,6$  g e  $m_1 = 4277,6$  g:

$$P = \frac{m-m_1}{m} \times 100 \quad (4)$$

$$P = \frac{4992,6-4277,6}{4992,6} \times 100$$

$$P = 14,32\%$$

Portanto, o agregado graúdo atende ao requisito exigido pela NBR 7211, que estabelece que o índice de desgaste deve ser inferior a 50%.

#### 4.1.1.7 Ensaio especiais

##### 4.1.1.7.1 Massa específica da areia

O valor da leitura do frasco Chapman foi de 390 cm<sup>3</sup> nas duas medições, resultando numa massa específica de 2,631 g/cm<sup>3</sup> para areia, conforme a substituição da Equação (5) apresentada a seguir:

$$\gamma = \frac{500}{L-200} \quad (5)$$

$$\gamma = \frac{500}{390-200}$$

$$\gamma = 2,631 \text{ g/cm}^3$$

##### 4.1.1.7.2 Massa específica do pó de brita

A leitura do frasco foi de 380 g/cm<sup>3</sup> nas duas medições. O resultado final da massa específica do pó de brita foi de 2,778 g/cm<sup>3</sup>, conforme os cálculos a seguir:

$$\gamma = \frac{500}{L-200} \quad (5)$$

$$\gamma = \frac{500}{380-200}$$

$$\gamma = 2,778 \text{ g/cm}^3$$

##### 4.1.1.7.3 Massa específica da brita

O valor do volume deslocado foi de 705,1 cm<sup>3</sup> e a massa da amostra seca foi de 1996,4 g. A massa específica encontrada foi de 2,831 g/cm<sup>3</sup>, conforme o cálculo abaixo:

$$d = \frac{m}{vd} \quad (6)$$

$$d = \frac{1996,4}{705,1}$$

$$d = 2,831 \text{ g/cm}^3$$

#### 4.1.2 Ensaio para aceitação das peças de concreto

##### 4.1.2.1 Avaliação dimensional

As peças estudadas foram peças retangulares do tipo I, com medida nominal de 9,8 cm x 19,7 cm x 8 cm. A Tabela 19 apresenta os resultados das medições de 6 corpos de prova, bem como o índice de forma. Todas as peças atenderam às tolerâncias de dimensões e ao limite do índice de forma.

**Tabela 19 - Avaliação dimensional das PPC**

Nº do CP	Largura (cm)	Comprimento (cm)	Espessura (cm)	Índice de forma (IF)
1	9,85	19,98	7,77	2,57
2	9,8	19,84	7,93	2,50
3	9,83	19,78	7,92	2,50
4	9,83	19,78	7,9	2,50
5	9,8	19,79	7,96	2,49
6	9,84	19,78	7,77	2,55

Fonte: Autora (2017)

#### 4.1.2.2 Inspeção visual

As peças apresentaram bom aspecto visual, com presença de espaçadores de juntas, chanfros e ângulos de inclinação de 90°. Nas Figuras 57 e 58 pode-se observar o aspecto visual das peças ensaiadas.

**Figura 57 - Peças observadas no ensaio de inspeção visual**



Fonte: Autora (2017)



**Figura 58 - Vista lateral de uma das PPC utilizadas no ensaio de inspeção visual**



Fonte: Autora (2017)

#### 4.1.2.3 Resistência à compressão

Foram realizados ensaios nos tempos de cura de 7, 14 e 28 dias. A amostra para ensaio nos tempos de cura de 7 e de 14 dias foi de 3 corpos de prova. Para o tempo de cura de 28 dias foram ensaiadas 6 peças.

Como o a NBR 9781/2013 estipula um valor mínimo de peças por amostra de 6 corpos de prova, o coeficiente de Student é dado também para um mínimo de 6 peças. Portanto, para os tempos de cura de 7 e de 14 dias foi calculada apenas a resistência média. A resistência característica à compressão aos 28 dias foi de 23,37 MPa, abaixo da exigência mínima de 35 MPa.

A Tabela 20 apresenta um resumo dos resultados calculados. As tabelas com todos os dados estão nos Apêndices D, E e F.

**Tabela 20 - Resumo da resistência à compressão**

Tempo de cura (dias)	Resistência Média à Compressão (MPa)	Resistência à compressão estimada (MPa)
7	17,91	-
14	21,84	-
28	29,65	23,37

Fonte: Autora (2017)

#### 4.1.2.4 Absorção de água

Pelos valores da tabela 21, é possível verificar que o valor da absorção de água dos blocos foi satisfatório, visto que a média foi menor que 6% e nenhum valor individual ultrapassou 7%.

**Tabela 21 - Resultado do ensaio de absorção de água**

Nº do CP	Massa do bloco seco (g)	Massa do bloco saturado (g)	Absorção de água (%)	Absorção de água média (%)
7	3291,1	3443,4	4,63	
8	3164,4	3346,3	5,75	4,99
9	3394,8	3551,2	4,61	

Fonte: Autora (2017)

## 4.2 Execução do pavimento intertravado

Foi feito o acompanhamento da obra de reposição das peças por meio de visitas, nas quais foi possível verificar a retirada das PPC do revestimento defeituoso e o assentamento das novas peças.

Para a retirada do pavimento antigo e execução do novo, a área total do posto foi dividida em áreas menores, uma vez que havia um grande fluxo diário de veículos e o posto não poderia ter seu funcionamento interrompido.

Após a delimitação da área de execução, foram retiradas as PPC com o auxílio de uma picareta, como pode ser observado na Figura 59.

**Figura 59 – Retirada das PPC**

Fonte: Autora (2017)

O colchão de areia foi então complementado e as novas peças foram assentadas sobre o mesmo. O arranjo entre as peças foi feito do modo espinha de peixe. Após o encaixe das peças, foi feita a compactação das mesmas com a placa vibratória (Figura 60). Para o preenchimento das juntas foi utilizada argamassa composta por cimento, cal, areia e água. O pavimento foi umedecido com água (Figura 61) antes da aplicação da argamassa (Figura 62). Em seguida, o pavimento foi novamente compactado com a placa vibratória (Figura 63).

**Figura 60 – Compactação do pavimento**

Fonte: Autora (2017)

**Figura 61 – Umedecimento das peças**



Fonte: Autora (2017)

**Figura 62 – Argamassa aplicada para preenchimento das juntas**



Fonte: Autora (2017)



**Figura 63 – Compactação final**



Fonte: Autora (2017)

Foi possível observar também o espaço deixado para execução do acabamento junto às contenções e interrupções, como pode ser observado nas Figuras 64 e 65. O acabamento foi feito com peças cortadas.

**Figura 64 – Confinamento externo**



Fonte: Autora (2017)

**Figura 65 – Confinamento interno**

Fonte: Autora (2017)

### **4.3 Discussões sobre o caso**

A partir dos resultados obtidos nos ensaios realizados com os agregados utilizados na fabricação dos bloquetes, observa-se que apenas a areia se enquadraram em todos os requisitos exigidos. O pó de brita e a brita possuem quantidade de materiais finos acima dos limites estabelecidos pela NBR 7211/2009, além de não se enquadrarem nas zonas granulométricas.

Com base nisso, observa-se que apesar da boa estrutura da fábrica e dos equipamentos modernos, não há controle tecnológico em relação aos agregados utilizados na composição do concreto.

Além disso, o estudo do traço precisa ser refeito, uma vez que as peças não atingiram a resistência recomendada por norma.

Em relação ao estudo feito sobre a execução do pavimento intertravado, a patologia observada foi ocasionada pelo desgaste por abrasão. Segundo o DNIT 090/2006 – ES (Patologias do concreto – Especificação de serviço), o desgaste superficial pode ocorrer por abrasão, erosão e cavitação.

A abrasão é caracterizada pela perda gradual da argamassa superficial do concreto. A norma diz que este tipo de patologia é comum nos pavimentos. A erosão ocorre quando um fluido em movimento ocasiona colisão, escorregamento ou rolagem das partículas,

podendo gerar desgaste no concreto. A cavitação provoca um desgaste irregular da superfície do concreto por conta da implosão de bolhas de ar.

A NBR 9781/2013 descreve o método de ensaio de resistência à abrasão nas peças de concreto, que é um ensaio facultativo realizado com um líquido abrasivo. Porém, o mesmo não foi realizado por falta de equipamentos.

Considerando-se que o local do pavimento é um posto de combustíveis, há grande exposição a substâncias que podem ser nocivas ao concreto, podendo também ocasionar deterioração do mesmo.

Como explicado anteriormente, os materiais utilizados na fabricação das novas peças foram os mesmos empregados na produção das peças defeituosas que sofreram desgaste superficial. Portanto, algumas características observadas a partir dos ensaios realizados com os agregados têm influência no desgaste. Segundo Neville (*apud* WEIDMANN, 2008, p. 21) o excesso de material pulverulento pode ser prejudicial em concretos submetidos à abrasão.

Além disso, o desgaste pode possivelmente ter sido ocasionado pelas substâncias nocivas as quais um posto de combustíveis está submetido. Logo, a realização do ensaio de desgaste à abrasão nas novas PPC seria de grande relevância.

Foi observado na execução do pavimento que a camada do colchão de areia não foi executada com rigor tanto em relação a espessura quanto em relação ao espalhamento do material. Além disso, não houve nivelamento do terreno.

Outro aspecto notado foi a utilização de argamassa como material de rejuntamento das peças. Os materiais recomendados são a areia e o pó de brita, como explicado anteriormente. A utilização de argamassa, além de trazer dificuldades em uma possível manutenção, compromete o princípio do intertravamento entre as peças, visto que o conjunto formado pela areia de assentamento mais a areia entre as juntas garante essa propriedade. Ademais, aumenta as chances do aparecimento de fissuras ou até mesmo o rompimento das peças.

## 5 DIMENSIONAMENTO DO ESTACIONAMENTO DOS LABORATÓRIOS MULTIUSUÁRIOS DA PÓS GRADUAÇÃO – UEMA

O dimensionamento do pavimento foi realizado para o estacionamento dos Laboratórios Multiusuários da Pós Graduação – UEMA, situado no Campus Paulo VI. O Anexo B mostra a planta da área que será pavimentada.

Primeiramente foi feito um estudo do solo do subleito para em seguida ser realizado o dimensionamento do estacionamento. A coleta do solo foi feita a uma profundidade de 60 cm.

O estacionamento terá vaga para 20 carros e eventualmente poderá haver solicitação de caminhões leves.

### 5.1 Caracterização do solo do subleito

#### 5.1.1 Granulometria

Pela granulometria lavada, observou-se que uma boa parte dos grãos passa pela peneira de 0,075 mm. A Tabela 22 mostra o resumo da granulometria, que será apresentada com todos os resultados no Apêndice G. O gráfico 4 apresenta a curva granulométrica do solo.

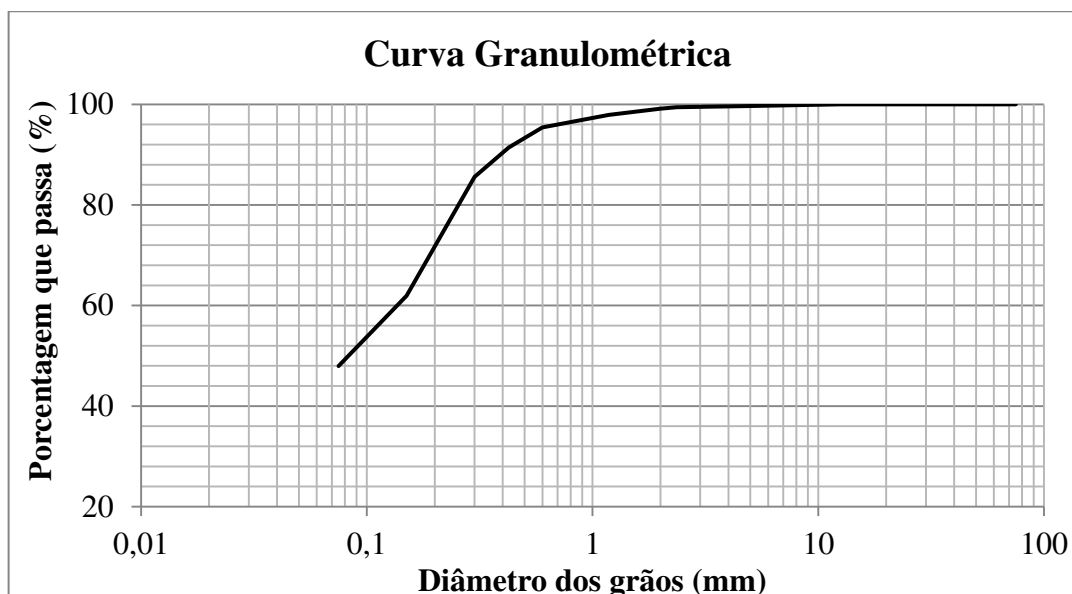
**Tabela 22 - Resumo da granulometria do solo**

RESUMO DA GRANULOMETRIA (%)	
Pedregulho acima de 2,0 mm	0,852
Areia grossa 2,0 a 0,42mm	7,741
Areia fina 0,42 a 0,075	43,457
Menor que 0,075mm	47,950

Fonte: Autora (2017)



Gráfico 4 - Curva granulométrica do solo



Fonte: Autora (2017)

### 5.1.2 Limite de Plasticidade

O valor encontrado para o limite de Plasticidade foi de 12,38%, conforme os valores apresentados na Tabela 23.

**Tabela 23 - Detemrinação do Limite de Plasticidade (LP)**

Nº da Cápsula	Peso da Cápsula (g)	Solo Úmido+Cap (g)	Solo seco+cap (g)	Teor de Umidade (%)	Limite de Plasticidade (LP)
29	8,47	9,95	9,79	12,12	
85	10,89	13,32	13,06	11,98	12,38
2	10,32	12,66	12,39	13,04	

Fonte: Autora (2017)

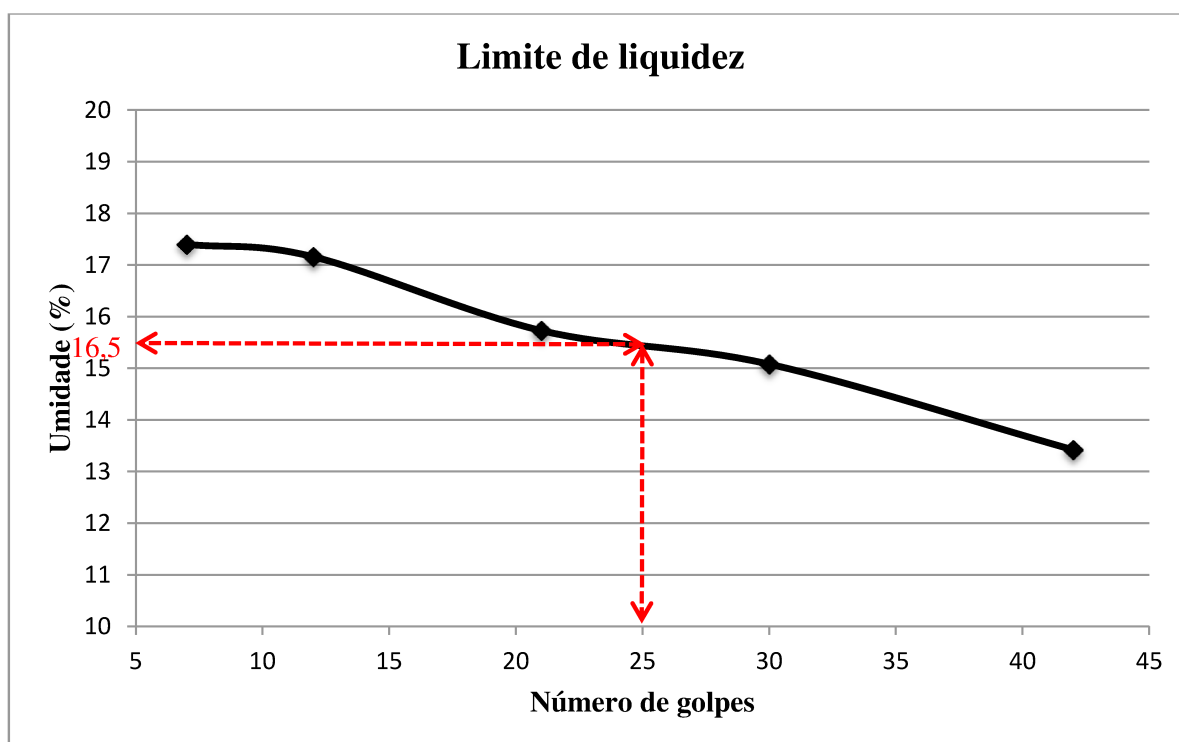
### 5.1.3 Limite de Liquidez

Os resultados obtidos na realização do ensaio do limite de liquidez estão expressos na Tabela 25. O Gráfico 5 apresenta a plotagem do gráfico para a determinação do valor do limite de liquidez, que foi igual a 16,5%.

**Tabela 24 - Resultados do limite de liquidez (LL)**

Nº da Capsula	46	34	3	40	15
Peso da Cápsula (g)	4,86	4,25	4,56	4,72	4,69
Solo Úmido+Cap (g)	25,1	21,11	24,57	24,49	23,03
Solo seco+cap (g)	22,1	18,64	21,85	21,9	20,86
Nº de Golpes	7	12	21	30	42
Teor de Umidade (%)	17,4	17,16	15,73	15,08	13,42

Fonte: Autora (2017)

**Gráfico 5 - Limite de liquidez**

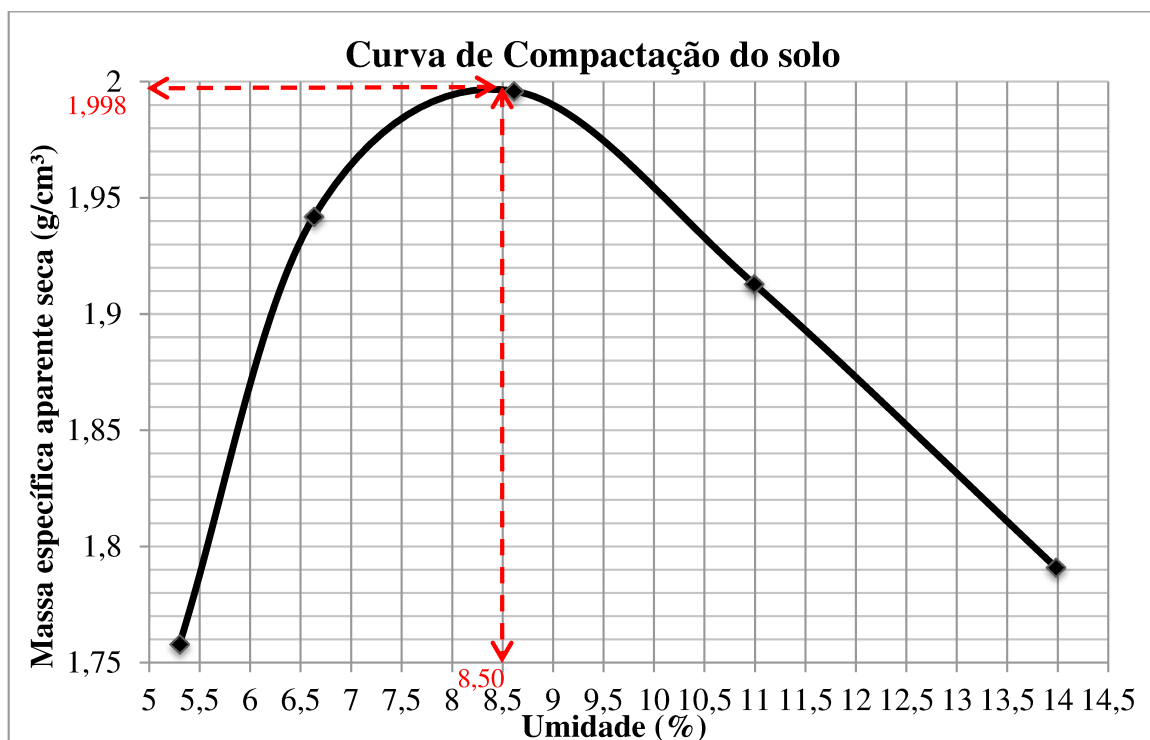
Fonte: Autora (2017)

Com o valor do LP = 12,38% e do LL = 16,5%, obtém-se o Índice de Plasticidade (IP), que é dado pela diferença numérica entre o LL e o LP. O valor do IP é de 4,12.

#### 5.1.4 Compactação

Através da compactação do solo, obteve-se a umidade ótima de 8,50% e a massa específica aparente seca máxima de 1,99 g/cm<sup>3</sup>, conforme o Gráfico 6. Os dados obtidos para cada ponto serão mostrados nos Apêndice H.

Gráfico 6 - Curva de compactação do solo

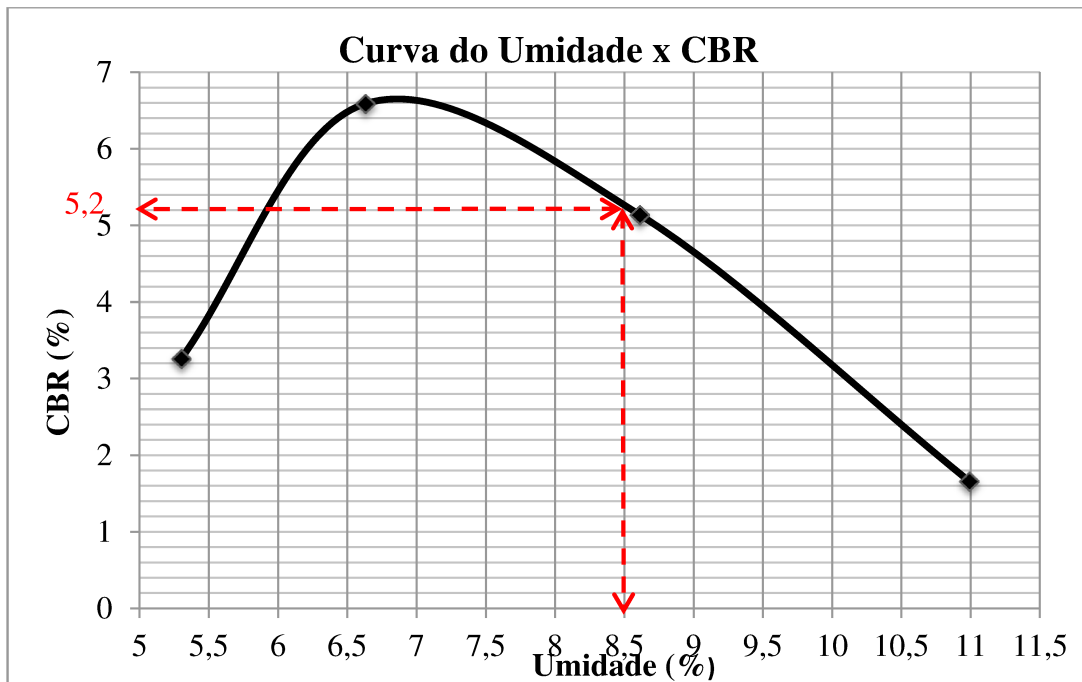


Fonte: Autora (2017)

### 5.1.5 Índice de Suporte Califórnia (ISC) ou California Bearing Ratio (CBR)

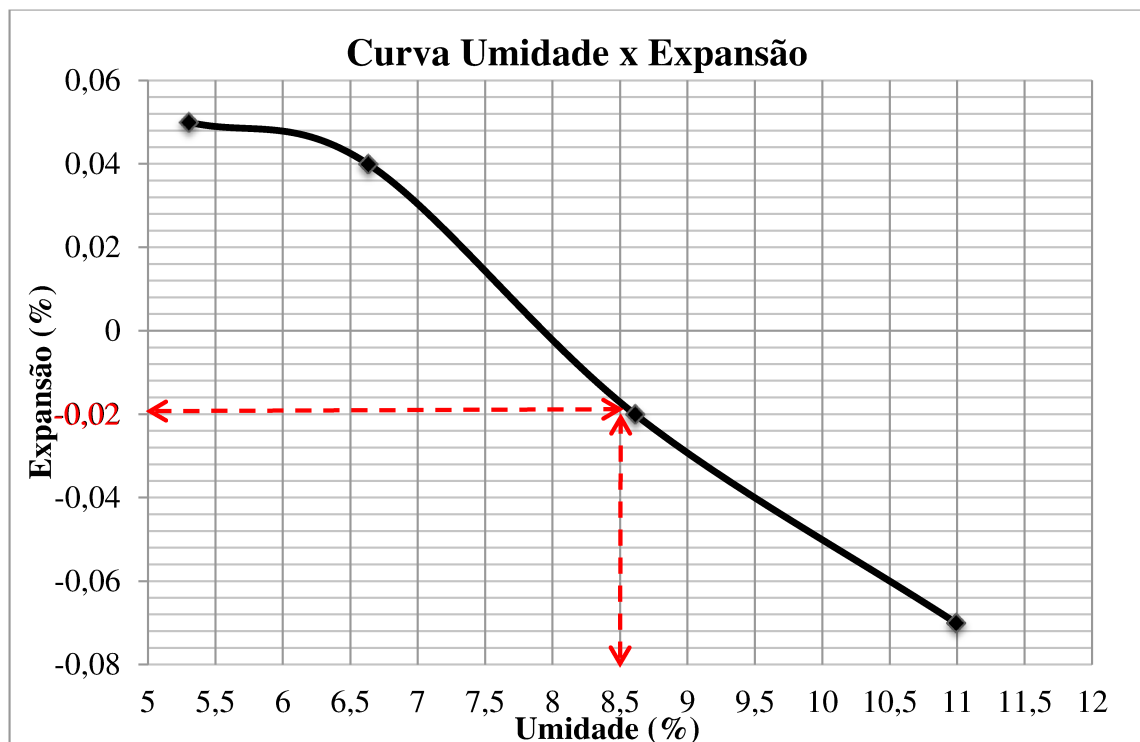
O valor do CBR do solo do subleito na umidade ótima foi de 5,2% e a expansão foi de -0,02%, conforme indicado nos Gráficos 7 e 8. Os valores do CBR para cada ponto estão expostos nos Apêndices I, J, K e L. A curva de CBR não pôde ser obtida na umidade 13,98% por problemas técnicos na prensa.

Gráfico 7 – Umidade x CBR



Fonte: Autora (2017)

Gráfico 8 – Umidade x Expansão



Fonte: Autora (2017)

### 5.1.6 Classificação do solo

Pelos resultados obtidos anteriormente, o solo é classificado pelo TRB (Anexo A) como A-4, um material siltoso. Segundo a classificação, ele tem comportamento sofrível a mau como subleito.

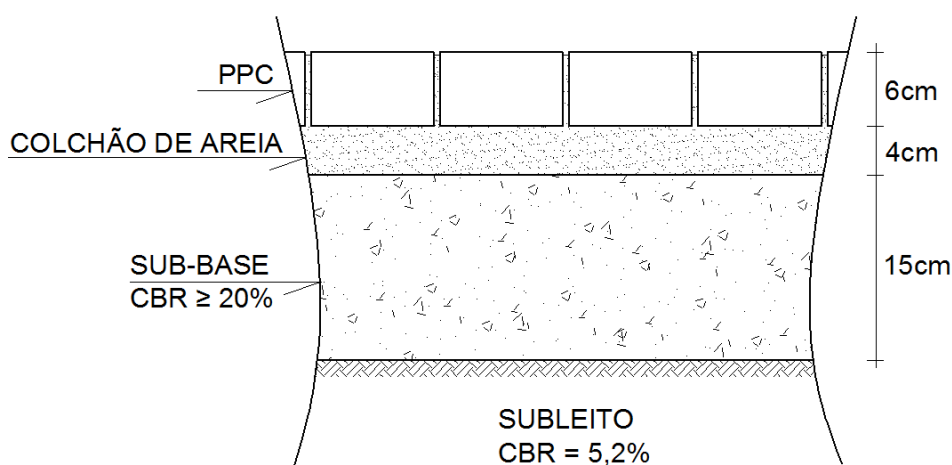
## 5.2 Dimensionamento do pavimento

Tendo em vista que se trata de um estacionamento com eventual tráfego de caminhões leves, Carvalho (1998, p. 27) diz que a previsão é que o número de solicitações equivalentes do eixo padrão (N) seja o mínimo possível. O autor recomenda que, nestes casos, seja adotado valor de  $N \leq 0,01 \times 10^6$ .

Considerando-se  $N = 0,01 \times 10^6$  e subleito com  $\text{CBR} = 5,2\%$ , pelo gráfico da Figura 53 será necessária uma sub-base de 15 cm constituída por material com valor mínimo de CBR de 20%. Como o número de solicitações é menor que  $1,5 \times 10^6$ , não será necessária camada de base.

A camada de colchão de areia proposta será de 4 cm. No caso de solicitações de tráfego leve, as peças pré-moldadas podem ter espessura mínima de 6 cm. A Figura 66 indica a seção transversal proposta para o pavimento sugerido.

**Figura 66 - Seção transversal do pavimento dimensionado**



Fonte: Autora (2017)

### **5.3 Discussões sobre o caso**

Apesar do tráfego leve, o pavimento do estacionamento estudado necessitou de uma camada de sub-base de 15 cm, uma vez que o subleito apresenta solo com baixo suporte de tráfego.

No estudo feito por Wiebbelling (2015), apesar de um volume de tráfego maior, a espessura da camada de sub-base foi de 10 cm, uma vez que o subleito obteve um CBR de 11,25%.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através dos casos estudados, foi possível analisar como funciona o pavimento intertravado desde a fabricação das peças até à execução, passando pelo dimensionamento.

### 6.1 Fabricação

#### 6.1.1 Materiais

Através dos ensaios nos materiais constituintes das PPC utilizadas no caso estudado, observa-se que apenas a areia se enquadrou na granulometria adequada. Todos os materiais possuem teor de argila dentro do limite, porém, o pó de brita e a brita possuem elevado teor de materiais finos que passam na peneira de 75  $\mu\text{m}$ . O agregado graúdo atendeu ao limite exigido no ensaio de desgaste à abrasão.

Verifica-se, portanto, que as peças estudadas foram fabricadas com materiais que não atendem às condições exigidas em norma, comprometendo assim tanto a resistência e a vida útil quanto a sua aparência.

#### 6.1.2 Peças pré-fabricadas

Nos ensaios de caracterização das peças de concreto, o índice de forma de todas elas atenderam às normas, assim como a inspeção visual. A absorção média de água também atendeu ao limite exigido. Já a resistência característica à compressão foi de 23,37 MPa, 33,23% abaixo do mínimo estabelecido em norma, que é de 35 MPa.

Como observado na análise dos resultados obtidos nos ensaios dos agregados, a quantidade de finos e a granulometria de alguns agregados não atenderam ao estabelecido em norma. A grande quantidade de finos influencia diretamente na resistência do concreto, uma vez que aumenta o teor de água e pode causar aumento no número de vazios na peça. Logo, uma possível causa para a baixa resistência é o excesso deste material pulverulento nos agregados.

Uma vez que o traço do concreto deve ser determinado levando-se em consideração a granulometria dos agregados, outra possível causa é um traço desajustado em relação a granulometria dos agregados, pois como observado, alguns não se enquadraram na zona granulométrica desejada.

## **6.2 Execução do pavimento**

A falta de acompanhamento técnico na execução compromete a qualidade do pavimento intertravado. Como foi observado, algumas medidas básicas não foram tomadas durante a execução, como a falta de rigor na execução do colchão de areia e a utilização de material não adequado para o rejuntamento das peças. Esses fatores têm uma grande relevância no funcionamento do pavimento intertravado, pois como visto anteriormente, são fundamentais para o intertravamento e durabilidade das peças, garantindo um pavimento regular.

## **6.3 Dimensionamento**

A estrutura de 6 cm de PPC, 4 cm de colchão de areia e 15 cm de sub-base para um subleito de 5,20% de CBR, foi obtida pelo método do ET – 27 da ABCP de maneira simples e direta, percebendo-se assim que não há dificuldade nesta etapa para definir o que será executado em campo. O dimensionamento traz a garantia de que o pavimento terá uma vida útil maior, portanto, não deve ser ignorado mesmo quando se tratar de obras de pequeno porte, com solicitações de tráfego leve.



## REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP). **Boletim Técnico BT – 102 – Assentamento de blocos pré-moldados de concreto em pavimentação: prática recomendada**. 2. ed. São Paulo, ABCP, 1998.

\_\_\_\_\_. **Manual de Pavimento Intertravado: Passeio Público**. São Paulo, ABCP, 2010.

\_\_\_\_\_. **Prática recomendada – PR – 1 – Pavimentos intertravados: preparo da fundação**. São Paulo, ABCP, 2012.

\_\_\_\_\_. **Prática recomendada – PR – 2 – Pavimentos intertravados: confinamentos**. São Paulo, ABCP, 2012.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **NBR 15953: 2011. Pavimento intertravado com peças de concreto – Execução**. Rio de Janeiro, ABNT, 2011.

\_\_\_\_\_. **NBR 7211: 2009. Agregados para concreto – Especificação**. Rio de Janeiro, ABNT, 2009.

\_\_\_\_\_. **NBR 7218: 2010. Agregados – Determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis**. Rio de Janeiro, ABNT, 2010.

\_\_\_\_\_. **NBR 7809: 2005. Agregados graúdos – Determinação do índice de forma pelo método do paquímetro – Método de ensaio**. Rio de Janeiro, ABNT, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 9781: 2013. Peças de Concreto para Pavimentação – Especificação e métodos de ensaio**. Rio de Janeiro, ABNT, 2013.

\_\_\_\_\_. **NBR 9781:2013 – Peças de concreto para pavimentação – Especificação e métodos de ensaio**. Rio de Janeiro, 2013.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 248: 2003. Agregados – Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, ABNT, 2003.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 46: 2003. Agregados – Determinação do material fino que passa através da peneira 75 µm, por lavagem**. Rio de Janeiro, ABNT, 2003.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 51: 2001. Agregado graúdo – Ensaio de abrasão “Los Angeles”**. Rio de Janeiro, ABNT, 2001.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 53: 2009. Agregado graúdo – Determinação de massa específica aparente e absorção de água**. Rio de Janeiro, ABNT, 2001.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 9776: 1987. Agregados – Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman**. Rio de Janeiro, ABNT, 1987.

BALBO, José Tadeu. **Pavimentação asfáltica: materiais, projetos e restauração**. São Paulo, Oficina de Textos, 2007.

BEATY, Anthony N. S. **Predicting the performance of bedding sands**. Royal Military College of Canada. Canadá, 1992.

BERNUCCI, Liedi Bariani; MOTTA, Laura Maria Goretti da; CERATTI, Jorge Augusto Pereira; SOARES, Jorge Barbosa. **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros**. Rio de Janeiro, Petrobrás, ABEDA, 2007.

CARVALHO, Marcos Dutra de. **Estudo Técnico ET – 27 – Pavimentação com peças pré-moldadas de concreto**. 4. ed. São Paulo, ABCP, 1998.

CLEMENTINO, Felipe de Castro; BARROS, Guilherme Rezende; SANTOS, Pedro Guilherme Dias e. **Processo produtivo em uma indústria de artefatos de concreto**. Monografia de Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Goiás – UFGO. Goiânia, 2014.

CRUZ, Luís Otávio Maia. **Pavimento intertravado de concreto: estudo dos elementos e métodos de dimensionamento**. Dissertação de mestrado em Ciências em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ. Rio de Janeiro, 2003.

Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER). **DNER ME 080/94 – Solos – análise granulométrica por peneiramento – método de ensaio**. Brasília, 1994.

\_\_\_\_\_. **DNER ME 082/94 – Solos – determinação do limite de plasticidade – Método de ensaio**. Brasília, 1994.

\_\_\_\_\_. **DNER ME 122/94 – Solos – determinação do limite de liquidez – método de referência e método expedito – Método de ensaio**. Brasília, 1994.

Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). **Instituto de Pesquisas Rodoviárias. IPR – 719 – Manual de Pavimentação**. 3. ed. Rio de Janeiro, 2006.

\_\_\_\_\_. **DNIT 090/2006 – ES – Patologias do concreto – Especificação de serviço**. Rio de Janeiro, 2006.

\_\_\_\_\_. **DNIT 164/2013 – ME – Solos – Compactação utilizando amostras não trabalhadas – Método de Ensaio**. Rio de Janeiro, 2013.

\_\_\_\_\_. **DNIT 172/2016 – ME – Solos – Determinação do Índice de Suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas – Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 2016.

FERNANDES, Idário D. **Blocos e Pavers: produção e controle de qualidade**. 7. ed. Ribeirão Preto, Treino Assessoria e Treinamentos Empresariais, 2016.

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

Interlocking Concrete Pavement Institute (ICPI). **Construction of interlocking concrete pavements**. Tech Spec 2. Canada, 2017.

JÚNIOR, Ivan José Ary. **Pavimento intertravado como ferramenta de moderação do tráfego nos centros comerciais de travessias urbanas – estudo de caso Guaiúba, CE.** Dissertação de mestrado em Engenharia de Transporte. Universidade Federal do Ceará – UFC. Fortaleza, 2007.

MEDINA, Jacques de; MOTTA, Laura Maria Goretti da. **Mecânica dos Pavimentos.** 3. ed. Rio de Janeiro, Interciência, 2015.

PIROLA, Fernanda Carvalho. **Contribuição para o estudo de concreto seco utilizado na fabricação de peças de concreto para pavimentação de 50 MPa.** Dissertação de mestrado em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. Florianópolis, 2011.

RODRIGUES, Píbio Penna Firme. **Boletim Técnico BT – 103 – Fabricação de blocos pré-moldados de concreto para pavimentação.** 2. ed. São Paulo, ABCP, 1995.

SENÇO, Wlastermiler de. **Manual de técnicas de pavimentação: volume 1.** 2. ed. São Paulo, Pini, 2007.

\_\_\_\_\_. **Manual de técnicas de pavimentação: volume 2.** 1. ed. São Paulo, Pini, 2001.

T&A Blocos e Pisos. **Manual técnico de piso intertravado de concreto.** Fortaleza, T&A Blocos e Pisos, 2004.

WEIDMANN, Denis Fernandes. **Contribuição ao estudo da influência da forma e da composição granulométrica de agregados miúdos de britagem nas propriedades do concreto de cimento Portland.** Dissertação de mestrado em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. Florianópolis, 2008.

WIEBBELLING, Paula Orvana Guimarães. **Pavimento com blocos intertravados de concreto: estudo de caso na UNIVATES.** Monografia de Graduação em Engenharia Civil. Centro Universitário UNIVATES. Lajeado, 2015.

## APÊNDICES

APÊNDICE A – GRANULOMETRIA DA AREIA

AREIA												
Material:		1				2				Valores médios		
Nº da amostra:		997,02				995,87						
Peneira (mm)	Peso retido (g)	Peso retido acumulado (g)	Porcentagem retida (%)	Porcentagem retida acumulada (%)	Peso retido (g)	Peso retido acumulado (g)	Porcentagem retida (%)	Porcentagem retida acumulada (%)	Porcentagem retida (%)	Porcentagem retida acumulada (%)	Porcentagem que passa (%)	
9,5	0	0	0,00	0,00	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	
6,3	1,27	1,27	0,13	0,13	1,35	1,35	0,14	0,14	0,13	0,13	99,87	
4,75	1,2	2,47	0,12	0,25	1,08	2,43	0,11	0,24	0,11	0,25	99,75	
2,36	12,56	15,03	1,26	1,51	12,85	15,28	1,29	1,53	1,28	1,52	98,48	
1,18	127,94	142,97	12,83	14,34	137,68	152,96	13,83	15,36	13,33	14,85	85,15	
0,6	446,93	589,9	44,83	59,17	459,84	612,8	46,17	61,53	45,50	60,35	39,65	
0,3	291,1	881	29,20	88,36	275,8	888,6	27,69	89,23	28,45	88,80	11,20	
0,15	91,6	972,6	9,19	97,55	85	973,6	8,54	97,76	8,86	97,66	2,34	
Fundo:	24,42	997,02	2,45	100,00	22,27	995,87	2,24	100,00	2,34	100,00	0,00	
									Módulo de finura:			2,63

**APÊNDICE B – GRANULOMETRIA DO PÓ DE BRITA**

Material:	PÓ DE BRITA															
	1					2										
	997,52					1002,9										
Nº da amostra:	1					2					Valores médios					
Peso total da amostra (g):	997,52					1002,9										
Peneira (mm)	Peso retido (g)	Peso retido acumulado (g)	Porcentagem retida (%)	Porcentagem acumulada (%)	Peso retido (g)	Peso retido acumulado (g)	Porcentagem retida (%)	Porcentagem acumulada (%)	Porcentagem retida (%)	Porcentagem acumulada (%)	Porcentagem retida (%)	Porcentagem acumulada (%)	Porcentagem retida (%)	Porcentagem acumulada (%)	Porcentagem que passa (%)	
12,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100,00	
9,5	1,95	1,95	0,20	0,20	3,95	3,95	0,39	0,39	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	99,71	
6,3	4,3	6,25	0,43	0,63	8,17	12,12	0,81	1,21	0,62	0,62	0,62	0,92	0,92	0,92	99,08	
4,75	4,86	11,11	0,49	1,11	2,81	14,93	0,28	1,49	0,38	0,38	0,38	1,30	1,30	1,30	98,70	
2,36	127,68	138,79	12,80	13,91	139,51	154,44	13,91	15,40	13,36	13,36	13,36	14,66	14,66	14,66	85,34	
1,18	307,56	446,35	30,83	44,75	325,15	479,59	32,42	47,82	31,63	31,63	31,63	46,28	46,28	46,28	53,72	
0,6	220,25	666,6	22,08	66,83	218,61	698,2	21,80	69,62	21,94	21,94	21,94	68,22	68,22	68,22	31,78	
0,3	83,6	750,2	8,38	75,21	87,9	786,1	8,76	78,38	8,57	8,57	8,57	76,79	76,79	76,79	23,21	
0,15	96,1	846,3	9,63	84,84	100,8	886,9	10,05	88,43	9,84	9,84	9,84	86,64	86,64	86,64	13,36	
Fundo:	151,22	997,52	15,16	100,00	116	1002,9	11,57	100,00	13,36	13,36	13,36	100,00	100,00	100,00	0,00	
											Módulo de finura:					2,94

**APÊNDICE C – GRANULOMETRIA DA BRITA**

Material:	BRITA									
	1					2				
	2000,07					1999,03				
Nº da amostra:										
Peso total da amostra (g):	2000,07					1999,03				
Peneira (mm)	Peso retido (g)	Peso retido acumulado (g)	Porcentagem retida (%)	Porcentagem retida acumulada (%)	Peso retido (g)	Peso retido acumulado (g)	Porcentagem retida (%)	Porcentagem retida acumulada (%)	Porcentagem retida (%)	Porcentagem retida acumulada (%)
19	0	0	0,00	0,00	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00
12,5	3,86	3,86	0,19	0,19	3,8	3,8	0,19	0,19	0,19	0,19
9,5	107,24	111,1	5,36	5,55	92,79	96,59	4,64	4,83	5,00	5,19
6,3	572,2	683,3	28,61	34,16	600,01	696,6	30,02	34,85	29,31	34,51
4,75	463,1	1146,4	23,15	57,32	441,8	1138,4	22,10	56,95	22,63	57,13
2,36	659,4	1805,8	32,97	90,29	636	1774,4	31,82	88,76	32,39	89,52
Fundo:	194,27	2000,07	9,71	100,00	224,63	1999,03	11,24	100,00	10,48	100,00
										Módulo de finura: 2,09

**APÊNDICE D – RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO – CURA DE 7 DIAS**

Nº do PC	Espessura nominal (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Força Lida (kgf)	Força corrigida (kgf)	Força (N)	Resistência à compressão (MPa)
CP 1	80	6347,60	11190	11232,9	110183,5	17,36
CP 2	80	6347,60	11480	11521,7	113016	17,80
CP 3	80	6347,60	11980	12019,5	117899,7	18,57
Resistência média à Compressão (MPa):				17,91		

**APÊNDICE E – RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO – CURA DE 14 DIAS**

Nº do PC	Espessura nominal (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Força Lida (kgf)	Força corrigida (kgf)	Força (N)	Resistência à compressão (MPa)
CP 4	80	6347,60	17710	17725,2	173866,3	27,39
CP 5	80	6347,60	16930	16948,5	166247,8	26,19
CP 6	80	6347,60	7670	7727,87	75802,66	11,94
Resistência média à Compressão (MPa):				21,84		

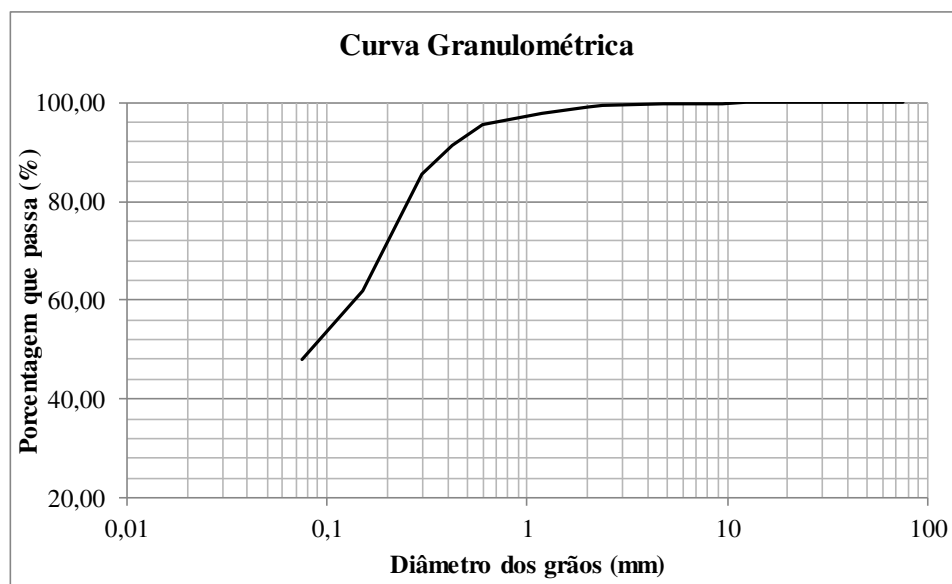
**APÊNDICE F – RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO – CURA DE 28 DIAS**

Nº do CP	Espessura nominal (mm)	Área de Carregamento (mm <sup>2</sup> )	Força Lida (kgf)	Força corrigida (kgf)	Força (N)	Resistência à compressão (MPa)
CP 10	80	6347,60	26810	26786,49	262748,64	41,39
CP 11	80	6347,60	16830	16848,92	165271,06	26,04
CP 12	80	6347,60	16720	16739,39	164196,66	25,87
CP 13	80	6347,60	18030	18043,82	176991,81	27,88
CP 14	80	6347,60	14750	14777,76	144955,09	22,84
CP 15	80	6347,60	21930	21927,24	215084,25	33,88
Resistência média (MPa):				29,65		
Desvio padrão:				6,82		
Coeficiente de Student:				0,92		
Resistência Característica Estimada (MPa):				23,37		

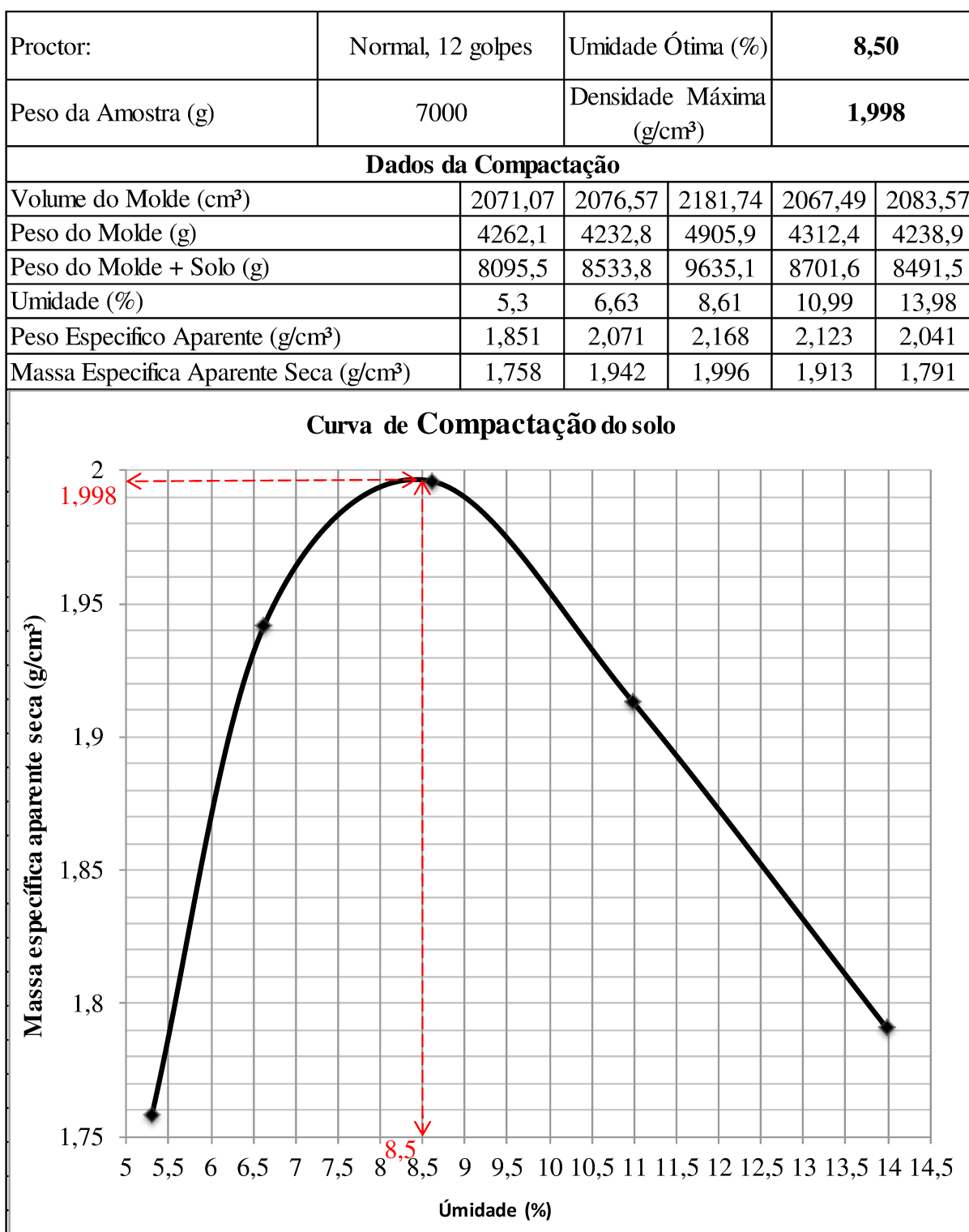


## APÊNDICE G – ANÁLISE E CURVA GRANULOMÉTRICA DO DOLO

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA (PENEIRAMENTO)								
RESUMO DA GRANULOMETRIA (%)				PENEIRAMENTO GROSSO				
Pedregulho acima de 2,0 mm	0,852			PENEIRA		Pesp seco retido (g)		% que passa da amostra
Areia grossa 2,0 a 0,42mm	7,741			#	mm	Parcial	Acumulado	
Areia fina 0,42 a 0,075	43,457			3"	75	0	0	100
Menor que 0,075mm	47,950			2"	50	0	0	100
UMIDADE (%)				1"1/2	37,5	0	0	100
				1"	25	0	0	100,00
Cápsula nº	20	90	y	3/4"	19	0	0	100,00
Solo Úmido+Cap (g)	66,66	48,2	49,75	1/2"	12,5	0	0	100,00
Solo seco+cap (g)	65,7	47,46	49,05	3/8"	9,5	2,11	2,11	99,89
Cápsula (g)	18,27	12,31	13,82	Nº 4	4,75	4,95	7,06	99,64
Água (g)	0,96	0,74	0,7	Nº 8	2,36	6,54	11,49	99,41
Solo Seco (g)	47,43	35,15	35,23	Nº 10	2	10,18	16,72	99,15
Umidade Higroscópica	2,02404	2,10526	1,98694					
Umidade Média (%)	2,039			PENEIRAMENTO FINO				
AMOSTRA TOTAL SECA				PENEIRA	Peso da Amostra Seca (g)		% que passa amostra	% que passa amostra total
				# / mm	Retido	Acumulado		
Amostra Total Úmida (g)	2001,9			16 / 1,2	24,33	24,33	98,749	97,91
Pedregulho Retido # 10 (g)	16,72			30 / 0,6	48,82	73,15	96,240	95,42
Passando # 10 Úmido (g)	1985,18			40 / 0,42	103,08	151,9	92,192	91,41
Passando # 10 Seco (g)	1945,5			50 / 0,3	162,88	265,96	86,330	85,59
Amostra Total Seca (g)	1962,22			100 / 0,15	567,28	730,16	62,470	61,94
AMOSTRA PARCIAL SECA				200 / 0,075	437,34	1004,62	48,362	47,95
Amostra Parcial Úmida (g)	1985,18							
Amostra Parcial Seca (g)	1945,51							



## APÊNDICE H – DADOS DA COMPACTAÇÃO DO SOLO



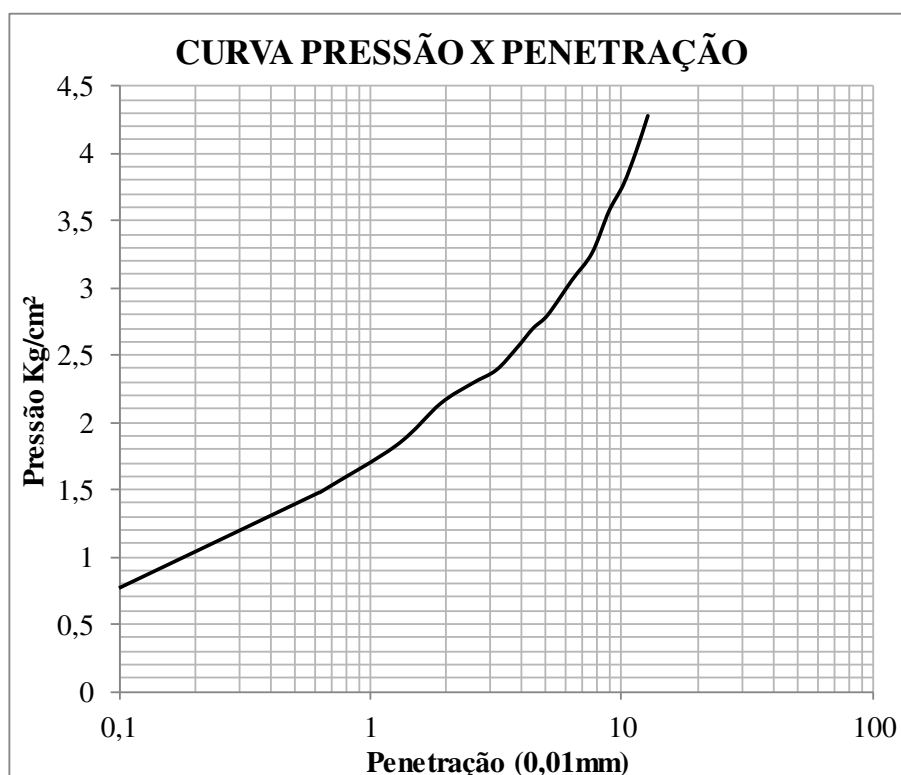
### APÊNDICE I – DADOS DO CBR PARA UMIDADE 5,30%

DATA:	10/11/2017		
N° do molde:	8	Umidade:	5,30%
		Massa específica:	1,758 g/cm <sup>3</sup>

Constante do anel:	0,05092958		
Tempo (min)	Penet. (mm)	Leitura (0,001)	Pressão (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0	0	0
0,5	0,63	29	1,48
1	1,27	36	1,83
1,5	1,9	42	2,14
2	2,54	45	2,29
2,5	3,17	47	2,39
3	3,81	50	2,55
3,5	4,44	53	2,7
4	5,08	55	2,8
4,5	6,35	60	3,06
6	7,62	64	3,26
7	8,89	70	3,57
8	10,16	74	3,77
9	11,43	79	4,02
10	12,7	84	4,28

CÁLCULO DO CBR			
Penet. (mm)	Pressão		CBR (%)
	Aplic.	Corrigida	
2,54	2,29		3,26
5,08	2,8		2,66
CBR(%):			3,26

CÁLCULO DA EXPANSÃO			
Altura do CP (mm):			176,9
DATA	TEMPO DIAS	Expansão (mm)	Expansão (%)
06/nov	0	0	0
07/nov	1	0,08	0,05
08/nov	2	0,085	0,05
09/nov	3	0,09	0,05
10/nov	4	0,09	0,05
EXPANSÃO(%):			0,05



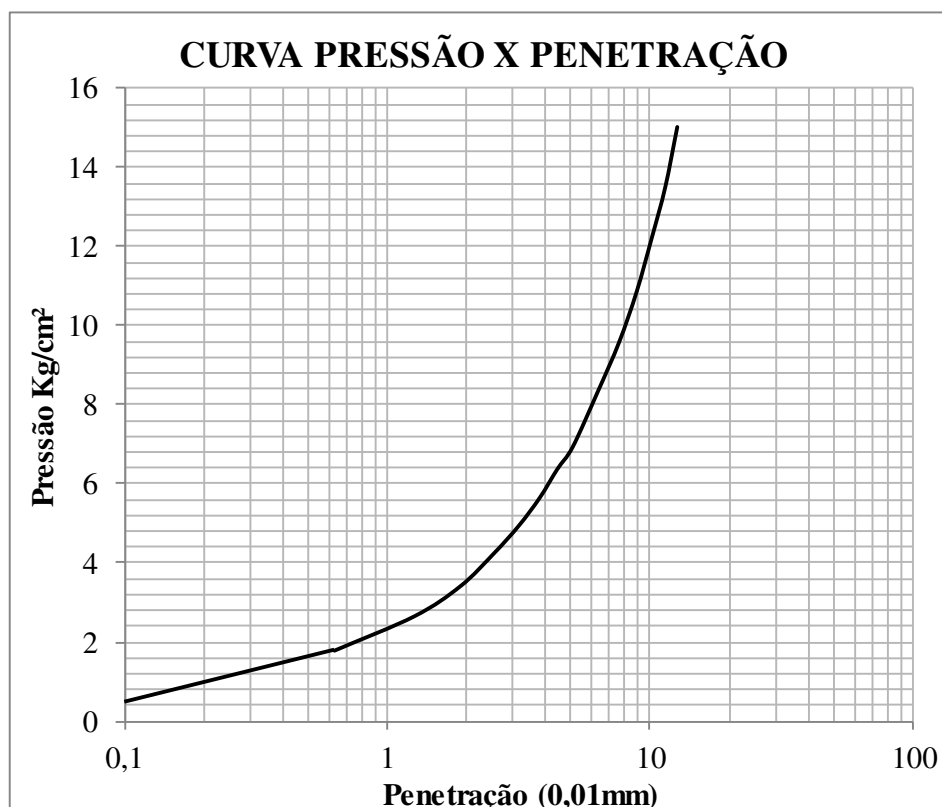
### APÊNDICE J – DADOS DO CBR PARA UMIDADE 6,63%

DATA:	10/11/2017		
Nº do molde:	6	Umidade:	6,63%
		Massa específica:	1,942 g/cm <sup>3</sup>

Constante do anel:		0,05092958	
Tempo (min)	Penet. (mm)	Leitura (0,001)	Pressão (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0	0	0
0,5	0,63	35	1,78
1	1,27	52	2,65
1,5	1,9	67	3,41
2	2,54	83	4,23
2,5	3,17	97	4,94
3	3,81	111	5,65
3,5	4,44	125	6,37
4	5,08	136	6,93
4,5	6,35	164	8,35
6	7,62	188	9,57
7	8,89	213	10,85
8	10,16	240	12,22
9	11,43	265	13,5
10	12,7	295	15,02

CÁLCULO DO CBR			
Penet. (mm)	Pressão		CBR (%)
	Aplic.	Corrigida	
2,54	4,23		6,02
5,08	6,93		6,59
CBR(%):			6,59

CÁLCULO DA EXPANSÃO			
Altura do CP (mm):			177,84
DATA	TEMPO DIAS	Expansão (mm)	Expansão (%)
06/nov	0	0	0
07/nov	1	0,055	0,03
08/nov	2	0,06	0,03
09/nov	3	0,065	0,04
10/nov	4	0,065	0,04
EXPANSÃO(%):			0,04



### APÊNDICE K – DADOS DO CBR PARA UMIDADE 8,61%

DATA:	10/11/2017				
Nº do molde:	SN	Umidade:	8,61%	Massa específica:	1,996 g/cm <sup>3</sup>

Constante do anel:		0,05092958	
Tempo (min)	Penet. (mm)	Leitura (0,001)	Pressão (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0	0	0
0,5	0,63	21	1,07
1	1,27	32	1,63
1,5	1,9	43	2,19
2	2,54	56	2,85
2,5	3,17	67	3,41
3	3,81	81	4,13
3,5	4,44	93	4,74
4	5,08	106	5,4
4,5	6,35	133	6,77
6	7,62	159	8,1
7	8,89	186	9,47
8	10,16	217	11,05
9	11,43	301	15,33
10	12,7	502	25,57

CÁLCULO DO CBR			
Penet. (mm)	Pressão		CBR (%)
	Aplic.	Corrigida	
2,54	2,85		4,05
5,08	5,4		5,14
CBR(%):			5,14

CÁLCULO DA EXPANSÃO			
Altura do CP (mm):			181,36
DATA	TEMPO DIAS	Expansão (mm)	Expansão (%)
06/nov	0	0	0
07/nov	1	-0,005	0
08/nov	2	-0,025	-0,01
09/nov	3	-0,04	-0,02
10/nov	4	-0,04	-0,02
EXPANSÃO(%):			-0,02



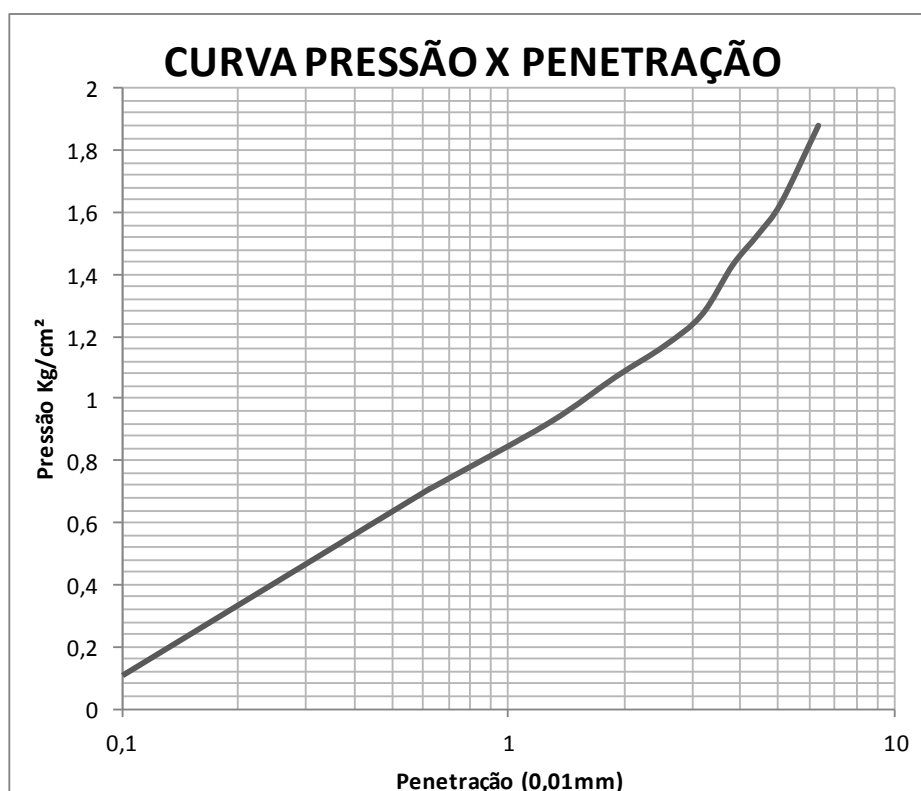
## APÊNDICE L – DADOS DO CBR PARA UMIDADE 10,99%

DATA:	10/11/2017		
Nº do molde:	03	Umidade:	10,99%
		Massa específica:	1,913 g/cm <sup>3</sup>

Constante do anel:		0,05092958	
Tempo (min)	Penet. (mm)	Leitura (0,001)	Pressão (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0	0	0
0,5	0,63	14	0,71
1	1,27	18	0,92
1,5	1,9	21	1,07
2	2,54	23	1,17
2,5	3,17	25	1,27
3	3,81	28	1,43
3,5	4,44	30	1,53
4	5,08	32	1,63
4,5	6,35	37	1,88
6	7,62	-	-
7	8,89	-	-
8	10,16	-	-
9	11,43	-	-
10	12,7	-	-

CÁLCULO DO CBR			
Penet. (mm)	Pressão		CBR (%)
	Aplic.	Corrigida	
2,54	1,17		1,66
5,08	1,63		1,55
CBR(%):			1,66

CÁLCULO DA EXPANSÃO			
Altura do CP (mm):			177,2
DATA	TEMPO DIAS	Expansão (mm)	Expansão (%)
06/nov	0	0	0
07/nov	1	-0,035	-0,02
08/nov	2	-0,13	-0,07
09/nov	3	-0,13	-0,07
10/nov	4	-0,13	-0,07
EXPANSÃO(%):			-0,07



**ANEXOS**

**ANEXO A – TABELA DE CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS (TRANSPORTATION RESEARCH BOARD)**

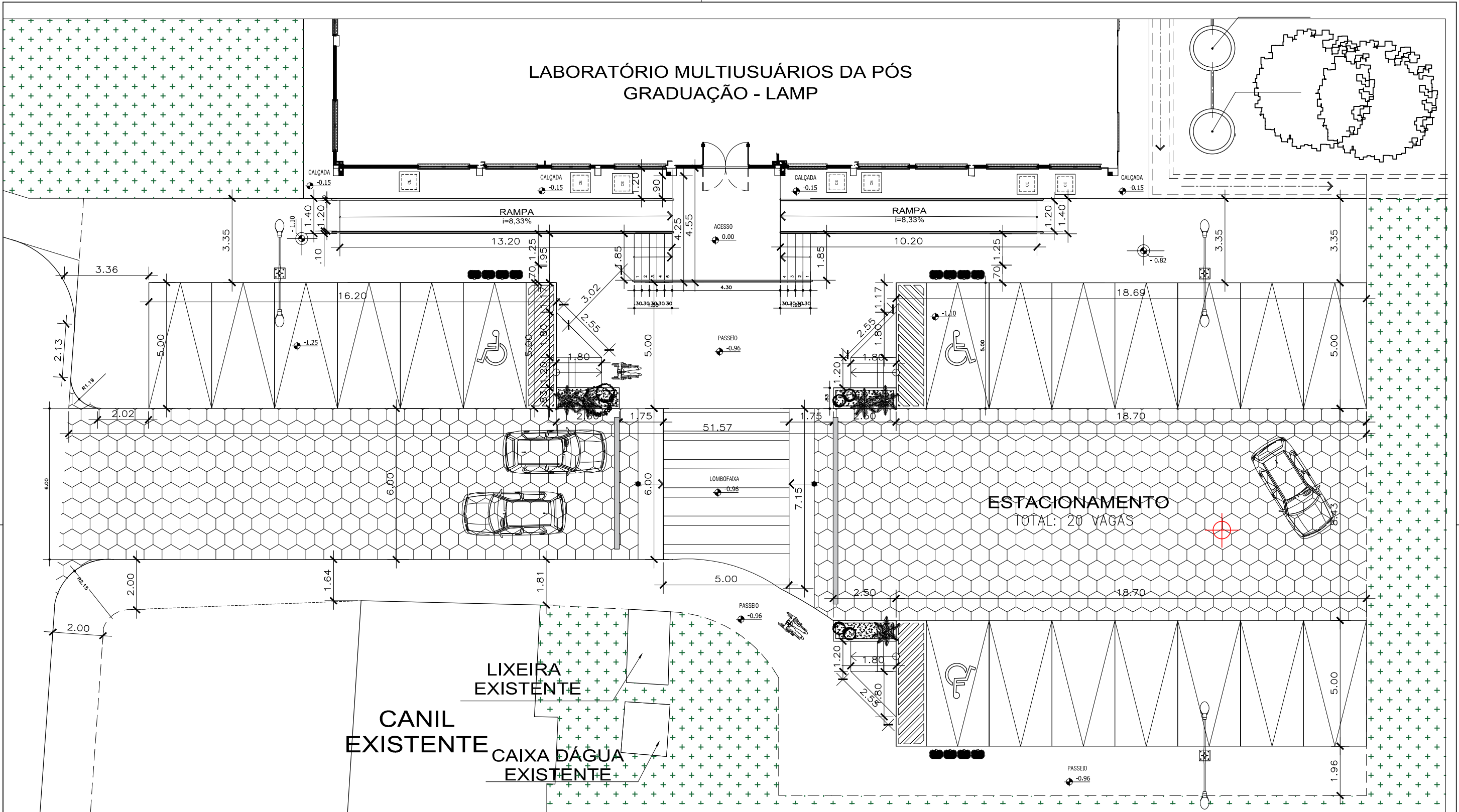
CLASSIFICAÇÃO GERAL	MATERIAIS GRANULARES 35% (ou menos) passando na peneira Nº 200							MATERIAIS SILTO - ARGILOSOS			
CLASSIFICAÇÃO EM GRUPOS	A - 1		A - 3	A - 2				A - 4	A - 5	A - 6	A - 7 A - 7 - 5 A - 7 - 6
	A - 1 - A	A - 1 - B		A - 2 - 4	A - 2 - 5	A - 2 - 6	A - 2 - 7				
Granulometria - % passando na peneira											
Nº 10	50 máx.										
Nº 40	30 máx.	30 máx.	51 min.								
Nº 200	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 min.	36 min.	36 min.	36 min.
Características da fração passando na peneira Nº 40:											
Limite de Liquidez				40 máx.	41 min.	40 máx.	41 min.	40 máx.	41 min.	40 máx.	41 min.
Índice de Plasticidade	6 máx.	6 máx.	NP	10 máx.	10 máx.	11 min.	11 min.	10 máx.	10 máx.	11 min.	11 min.*
Índice de Grupo	0	0	0	0	0	4 máx.	4 máx.	8 máx.	12 máx.	16 máx.	20 máx.
Materiais constituintes	Fragmentos de pedras, pedregulho fino e areia			Pedregulho ou areias siltosos ou argilosos				Solos siltosos		Solos argilosos	
Comportamento como subleito	Excelente a bom							Sofrível a mau			

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



**ANEXO B – PLANTA DO ESTACIONAMENTO DOS LABORATÓRIOS  
MULTIUSUÁRIOS DA PÓS-GRADUAÇÃO**

# LABORATÓRIO MULTIUSUÁRIOS DA PÓS GRADUAÇÃO - LAMP



MATERIAL	Un	QUANTIDADE
1. MEIO FIO PRÉ MOLDADO	ml	131,42
2. PAVIMENTAÇÃO EM BLOCKET	m <sup>2</sup>	323,00
3. PISO CIMENTADO	m <sup>2</sup>	313,80

LEGENDA

PONTO DE COLETA DO MATERIAL DO SUBLEITO

**PROJETO DE ARQUITETURA**

**PROJETO: ACESSO PARA LABORATÓRIOS MULTIUSUÁRIOS DA PÓS-GRADUAÇÃO - LAMP / CCA**

DESCRIÇÃO: PROJETO DOS ACESSOS AO PRÉDIO DO LAMP - CAMPUS PAULO VI

ENDEREÇO: Cidade Universitária Paulo VI - Tirirical - CEP: 65055-970 São Luís / MA

CONTEÚDO DA PRANCHA: PLANTA BAIXA DOS ACESSOS E PLANTA BAIXA DO TÉRREO

ÁREA TOTAL DO TERRENO: - ÁREA CONSTRUÍDA: 1201,20m<sup>2</sup> ESCALA: IND.

RESPONSÁVEL PELO PROJETO: NAIRAMA BARRIGA CAU Nº A115872-0

**PREFEITURA UEMA**

COLABORADORES: CRISTIANO GOMES NAIRAMA BARRIGA

SETOR DE PROJETOS SEPROJ

TIPO: **ARQ.**

COORDENADOR: GILBERTO SÁTIRO

Nº PRANCHA: **01-02**

DATA: 23.08.2016