

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO CIVIL

YAN GORSKI DE CAMPOS MALTA

**AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES DE PEÇAS DE CONCRETO
PARA PAVIMENTAÇÃO UTILIZADAS NAS VIAS DE PASSEIO DAS
OBRAS DO ANEL VIÁRIO DE CURITIBA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA

2013

YAN GORSKI DE CAMPOS MALTA

**AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES DE PEÇAS DE CONCRETO
PARA PAVIMENTAÇÃO UTILIZADAS NAS VIAS DE PASSEIO DAS
OBRAS DO ANEL VIÁRIO DE CURITIBA**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, do Curso Superior de Engenharia de Produção Civil do Departamento Acadêmico de Construção Civil – DACOC – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Juliana Machado Casali

CURITIBA

2013

FOLHA DE APROVAÇÃO

AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES DE PEÇAS DE CONCRETO PARA PAVIMENTAÇÃO UTILIZADAS NAS VIAS DE PASSEIO DAS OBRAS DO ANEL VIÁRIO DE CURITIBA

Por

YAN GORSKI DE CAMPOS MALTA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Produção Civil, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, defendido e aprovado em 02 de outubro de 2013, pela seguinte banca de avaliação:

Profa. Orientadora – Juliana Machado Casali, Dra.
UTFPR

Prof. Wellington Mazer, Dr.
UTFPR

Prof. José Alberto Cerri, Dr.
UTFPR

RESUMO

MALTA, Yan Gorski de Campos. Avaliação das propriedades de peças de concreto para pavimentação utilizadas nas vias de passeio das obras do anel viário de Curitiba. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia de Produção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2013.

O objetivo deste trabalho foi a avaliação de propriedades de peças de concreto para pavimentação utilizadas de vias de passeio em obras públicas na cidade de Curitiba. Assim, foram avaliadas as propriedades de geometria, massa específica no estado endurecido, resistência mecânica à compressão, resistência mecânica à tração, absorção de água total e absorção de água por capilaridade, dos quatro lotes que formavam o Anel Viário de Curitiba. Os resultados apontaram que foram comercializadas peças sem a devida qualidade.

Palavras-chave: Peças de concreto para pavimentação. *Paver*. Concreto seco. Pavimentação.

ABSTRACT

MALTA, Yan Gorski de Campos. Evaluation of the properties of concrete blocks paving used in sidewalks of the constructions of the ring road in Curitiba. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia de Produção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2013.

The objective of this study was to evaluate the properties of concrete blocks paving used in sidewalks on public works in the city of Curitiba. So, have been evaluated the properties of geometry, density in the hardened state, compressive strength, tensile strength, water absorption total and water absorption by capillarity, of the four lots that formed the ring road in Curitiba. The results were not satisfactory in accordance with Brazilian standards. Thus, it is concluded that there is the commercialization of this product without proper quality and it is necessary to greater oversight of agencies.

Keywords: Concrete blocks paving. *Paver*. Dry concrete.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Exemplo de <i>pavers</i> em Curitiba	10
Figura 2 - Exemplo de <i>pavers</i> em Blumenau	11
Figura 3 - Exemplo de <i>pavers</i> em Londrina	11
Figura 4 - Calçadas antigas em Curitiba	12
Figura 5 - Calçadas novas em Curitiba	12
Figura 6 - Resistência à compressão em função da relação água/cimento (a/c) para uma mesma proporção agregados/cimento (traço fixo)	15
Figura 7 - Exemplo de equipamento de vibro prensagem	21
Figura 8 - Cura úmida de peças de concreto para pavimentação	22
Figura 9 - Detalhe dos ensaios de resistência à tração.....	24
Figura 10 - Anel Viário de Curitiba	27
Figura 11 - Determinação da massa imersa.....	29
Figura 12 - Determinação da massa imersa.....	29
Figura 13 - Carregamento parcial.....	30
Figura 14 - Compressão diametral	31

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Valores individuais da massa específica aparente obtida dos quatro lotes analisados	36
Gráfico 2 - Média da massa específica aparente dos quatro lotes e coeficiente de variação.....	36
Gráfico 3 - Valores individuais e resistência característica da resistência à compressão obtida dos quatro lotes analisados	37
Gráfico 4 - Média da resistência à compressão dos quatro lotes e coeficiente de variação.....	37
Gráfico 5 - Valores individuais da resistência à tração obtida dos quatro lotes analisados	38
Gráfico 6 - Média da resistência à tração dos quatro lotes e coeficiente de variação	39
Gráfico 7 - Valores individuais da absorção de água total obtida dos quatro lotes analisados	40
Gráfico 8 - Média da absorção de água total dos quatro lotes e coeficiente de variação.....	40
Gráfico 9 – Média da absorção de água por capilaridade em função do tempo obtida de cada lote.....	41
Gráfico 10 - Valores individuais da absorção de água por capilaridade - IRA obtida dos quatro lotes analisados.....	41
Gráfico 11 - Média da absorção de água por capilaridade – IRA dos quatro lotes e coeficiente de variação.....	42
Gráfico 12 – Relação entre resistência à compressão e a massa específica aparente das peças do lote A.....	43
Gráfico 13 – Relação entre resistência à compressão e a massa específica aparente das peças do lote B.....	43
Gráfico 14 – Relação entre resistência à compressão e a massa específica aparente das peças do lote C.....	43
Gráfico 15 – Relação entre resistência à compressão e a massa específica aparente das peças do lote D.....	44

Gráfico 16 – Relação entre a resistência à compressão e a absorção de água total obtida entre os quatro lotes.....45

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 - Valores representativos das dimensões dos quatro lotes analisados . **Erro!
Indicador não definido.**
- Tabela 2 - Relação entre a resistência à tração e resistência à compressão dos
quatro lotes analisados.....45

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	10
1.1 JUSTIFICATIVA.....	12
1.2 OBJETIVOS.....	13
1.2.1 <i>Objetivo Geral</i>	13
1.2.2 <i>Objetivos Específicos</i>	13
2 REVISÃO DA LITERATURA.....	14
2.1 PEÇAS DE CONCRETO PARA PAVIMENTAÇÃO	14
2.2 MATERIAIS EMPREGADOS NAS PEÇAS DE CONCRETO PARA PAVIMENTAÇÃO	15
2.2.1 <i>Concreto Seco</i>	15
2.2.2 <i>Cimento Portland</i>	16
2.2.3 <i>Agregado Graúdo</i>	17
2.2.4 <i>Agregado Miúdo</i>	17
2.2.5 <i>Água</i>	18
2.2.6 <i>Aditivos</i>	18
2.2.7 <i>Adições</i>	19
2.3 DOSAGEM DE PEÇAS DE CONCRETO PARA PAVIMENTAÇÃO	20
2.4 MOLDAGEM DE PEÇAS DE CONCRETO PARA PAVIMENTAÇÃO.....	20
2.5 CURA DE PEÇAS DE CONCRETO PARA PAVIMENTAÇÃO	21
2.6 PROPRIEDADES DAS PEÇAS DE CONCRETO PARA PAVIMENTAÇÃO	22
2.6.1 <i>Massa Específica no Estado Endurecido</i>	22
2.6.2 <i>Resistência Mecânica à Compressão</i>	23
2.6.3 <i>Resistência Mecânica à Tração</i>	23
2.6.4 <i>Absorção de água total e por capilaridade</i>	24
2.7 CONTROLE DE QUALIDADE	24
3 METODOLOGIA.....	26
3.1 COLETA DAS AMOSTRAS.....	26
3.1.1 <i>Número de Amostras</i>	26
3.1.2 <i>Autorizações</i>	27

3.1.3	<i>Localização da utilização das amostras</i>	27
3.2	AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES DAS AMOSTRAS	28
3.2.1	<i>Geometria das amostras</i>	28
3.2.2	<i>Massa Específica do Estado Endurecido</i>	28
3.2.3	<i>Resistência Mecânica à Compressão – Carregamento Parcial</i>	29
3.2.4	<i>Resistência Mecânica à Tração – Tração por Compressão Diametral</i>	31
3.2.5	<i>Absorção de Água Total:</i>	32
3.2.6	<i>Absorção de Água por Capilaridade</i>	32
4	APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	34
4.1.1	<i>Geometria</i>	34
4.1.2	<i>Massa Específica no Estado Endurecido</i>	35
4.1.3	<i>Resistência à Compressão</i>	37
4.1.4	<i>Resistência à Tração</i>	38
4.1.5	<i>Absorção de Água Total</i>	39
4.1.6	<i>Absorção de Água por Capilaridade</i>	41
4.1.7	<i>Correlação entre as Propriedades</i>	42
5	CONCLUSÃO	47
	REFERÊNCIAS	48
	APÊNDICE A – PLANILHA DE RESULTADOS	49

1 INTRODUÇÃO

À medida que a preocupação com o meio ambiente aumentou desde o fim do século XX, e não parou de crescer desde então, há uma busca incessante por medidas sustentáveis que reduzam a agressão ao nosso planeta. Dessa forma, a demanda por essas alternativas aumentou consideravelmente e com isso o uso de peças de concreto para pavimentação ou *pavers*.

Essas peças de concreto para pavimentação surgiram como uma ótima resposta a essa nova preocupação, ao passo que o *paver* possibilita uma permeabilidade do pavimento significativa em comparação a outros calçamentos, como os de granito ou cerâmicos, além da redução da temperatura superficial se comparado com o pavimento asfáltico. A Figura 1 ilustra um exemplo de peças de concreto intertravadas.



Figura 1 - Exemplo de *pavers* em Curitiba
Fonte: Autoria Própria.

Outras vantagens da utilização desse material, segundo Ferreira (1991 *apud* OLIVEIRA, 2004), são o baixo custo de manutenção e a liberação do tráfego imediatamente após a execução.

Além disso, o Brasil está em franco crescimento econômico e por ser o país sede da Copa do Mundo de 2014, fomentaram os investimentos em infraestrutura em todo o seu território. Seguindo essa tendência, a Prefeitura Municipal de Curitiba investiu no Anel Viário, que é um dos muitos empreendimentos voltados para a

realização da copa, sendo que a cidade será uma das sedes. Essa obra consistiu na formação de um anel em torno do centro de Curitiba, para melhorias substanciais na infraestrutura social por meio de projetos básicos de saneamento, iluminação, acessibilidade, meio ambiente, pavimentação de ruas e calçadas, e da qualidade de vida da população, por meio de novas alternativas de rotas que possibilitaram a diminuição do tráfego no centro da cidade.

Na mesma linha da Prefeitura Municipal de Curitiba, outras prefeituras também adotaram o *paver* como alternativa de calçamento, como por exemplo, a Prefeitura de Blumenau (Figura 2) e a Prefeitura de Londrina (Figura 3).



Figura 2 - Exemplo de *pavers* em Blumenau
Fonte: <http://bicicletasdovale.blogspot.com.br/>.



Figura 3 - Exemplo de *pavers* em Londrina
Fonte: <http://janela-londrinense.blogspot.com.br/>.

1.1 JUSTIFICATIVA

Em função da nova demanda pelo uso das peças de concreto intertravadas, como alternativa sustentável de calçamentos, faz-se necessário avaliar a qualidade das peças utilizadas. Além disso, há um *déficit* entre oferta e procura e, desse modo, pode ocorrer a utilização de peças não conformes, uma vez que há uma necessidade de produção mais rápida.

Além disso, a Prefeitura Municipal de Curitiba padronizou esse tipo de calçamento. Devido a esse fato, conforme a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), em março de 2012 havia na região metropolitana de Curitiba 42 empresas e em Agosto de 2013 cerca de 90.

Inclusive, a Prefeitura Municipal de Curitiba adotou essa tecnologia na substituição das calçadas existentes no Anel Viário, visando melhorias ambientais e de acessibilidade, precipuamente, como mostram as Figuras 4 e 5.

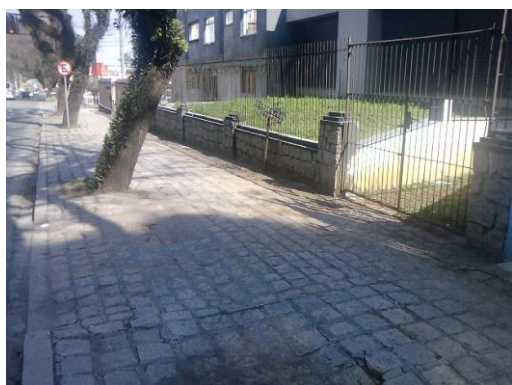


Figura 4 – Calçadas antigas em Curitiba
Fonte: Autoria Própria.

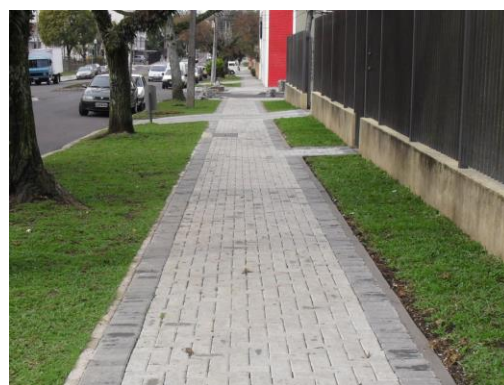


Figura 5 – Calçadas novas em Curitiba
Fonte: Autoria Própria.

Ainda, como em todo processo licitatório, o edital das obras exigia o uso de materiais que atendessem as especificações das normas brasileiras, e dessa forma, a fiscalização da prefeitura solicitava a certificação ou os laudos técnicos dos materiais empregados periodicamente.

Desse modo, analisando as peças de concreto para pavimentação utilizadas no Anel Viário, espera-se avaliar as propriedades dessas peças por meio de ensaios

e correlações, recomendadas por normas e outras propostas, e também avaliar quatro empresas de Curitiba fabricantes desse tipo de produto.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho é avaliar, segundo a norma brasileira NBR 9781 (ASSOCIAÇÃO..., 1987), as propriedades de peças de concreto para pavimentação utilizadas em vias de passeio nos quatro lotes do Anel Viário de Curitiba.

1.2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos são:

- a. Avaliar as variações dimensionais das peças de concreto para pavimentação;
- b. Determinar a massa específica dessas peças no estado endurecido;
- c. Analisar a resistência à compressão e a resistência à tração das peças de concreto para pavimentação;
- d. Verificar a absorção de água total e absorção de água por capilaridade (IRA) das peças analisadas;
- e. Correlacionar as diferentes propriedades com os dados obtidos;
- f. Avaliar a qualidade das peças de concreto para pavimentação conforme as recomendações previstas em norma para esse produto.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 PEÇAS DE CONCRETO PARA PAVIMENTAÇÃO

Segundo a NBR 9781 (ASSOCIAÇÃO..., 1987), as peças de concreto para pavimentação são definidas como unidades pré-moldadas de geometria regular e com dimensões especificadas. Essas peças pré-moldadas são destinadas à pavimentação de áreas com trânsito de veículos e pedestres de qualquer tipo de vias ou calçamentos. Além dessa versatilidade, sua manutenção pode ser realizada por pequenas equipes e com ferramentas manuais (CRUZ, 2003).

Na produção dessas peças de concreto para pavimentação é empregado um tipo de concreto especial, concreto seco, com propriedades distintas e bem definidas, o qual também é utilizado para produzir blocos de alvenaria estrutural, tubos, entre outros (OLIVEIRA, 2004). Sua composição deve constituir-se de cimento Portland, de qualquer tipo e classe, agregados naturais ou artificiais, e água, sendo permitido o uso de aditivos e adições, conforme a NBR 9781 (ASSOCIAÇÃO..., 1987).

Conforme Oliveira (2004), a produção dessas peças envolve principalmente três etapas: proporcionamento dos materiais, moldagem e cura das peças. Inclusive, os itens 2.3, 2.4 e 2.5 irão abordar essas três etapas respectivamente.

Além disso, a NBR 9781 (ASSOCIAÇÃO..., 1987) determina algumas condições específicas para aceitação das peças de concreto para pavimentação, como a resistência característica estimada à compressão e as variações máximas permissíveis nas dimensões. Ainda, poderá ocorrer a rejeição do lote que obtiver mais de 5% de peças defeituosas, já que cada lote é formado por um conjunto de peças produzidas nas mesmas condições, com os mesmos materiais e as mesmas características, limitando-se a no máximo 1600 m² de pavimento a ser executado.

Por isso, serão abordados nos itens 2.2 e 2.6, respectivamente, os materiais empregados para a produção das peças de concreto para pavimentação, bem como algumas de suas principais propriedades.

2.2 MATERIAIS EMPREGADOS NAS PEÇAS DE CONCRETO PARA PAVIMENTAÇÃO

2.2.1 Concreto Seco

Conforme já foi salientado anteriormente, a estrutura base das peças de concreto para pavimentação é o concreto seco, formado a partir de cimento Portland, agregados miúdo e graúdo, água, aditivos químicos e adições minerais. De acordo com Oliveira (2004) esse tipo de concreto possui algumas peculiaridades como baixa relação água/materiais secos, alta coesão, elevada consistência e a forma com que o ar aprisionado é expulso.

Por estes motivos, há diferenças nas leis que sintetizam as propriedades mecânicas do concreto seco em relação ao estrutural de consistência plástica (RODRIGUES, 1984). Por conseguinte, segundo Oliveira (2004), a “Lei de Abrams” não se aplica integralmente ao concreto seco, à medida que não há melhorias na resistência à compressão com reduções na relação água/cimento, como demonstra a Figura 6.

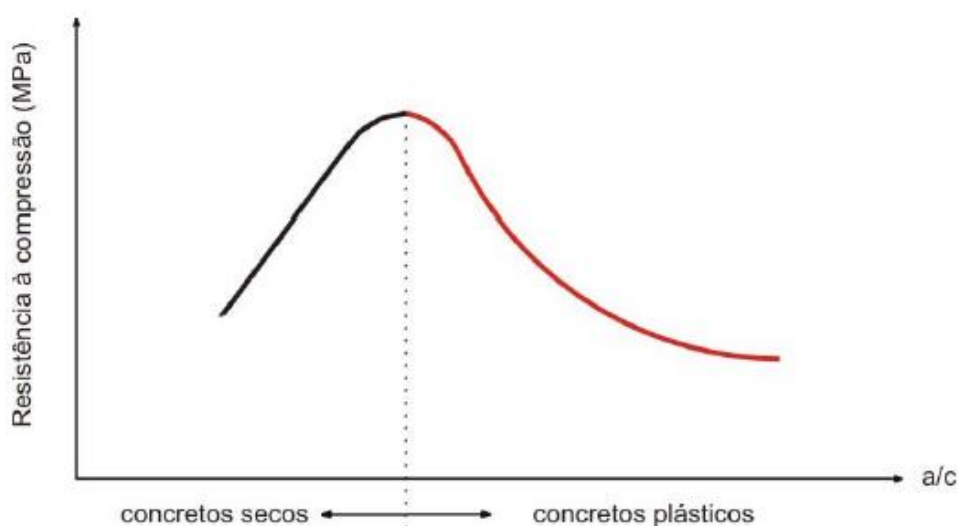


Figura 6 - Resistência à compressão em função da relação água/cimento (a/c) para uma mesma proporção agregados/cimento (traço fixo)
Fonte: OLIVEIRA, 2004.

Dessa forma, conforme Oliveira (2004), fixando uma energia de compactação e um traço, a resistência à compressão cresce com o aumento da quantidade de água na mistura, reduzindo-se a porosidade total. Ou seja, quantidades maiores de água na mistura contribuem expressivamente para uma melhora na trabalhabilidade, atenuando o atrito interno entre os grãos e beneficiando a compactabilidade. Conseqüentemente, o fator determinante da porosidade das peças deixa de ser a relação água/cimento, uma vez que se trata de um concreto com teor reduzido de água (OLIVEIRA, 2004).

Inclusive, conforme Oliveira (2004), as principais propriedades requeridas nas peças já endurecidas são a resistência mecânica à compressão, a resistência mecânica à abrasão (que se relaciona com a durabilidade) e a textura superficial, que é vinculada com a composição granulométrica. Ainda, o referido autor diz que o concreto seco deve possuir simultaneamente uma trabalhabilidade adequada e uma elevada coesão, uma vez que as peças devem ser moldadas e desformadas sem quaisquer alterações. Logo, de acordo com Rodrigues (1984), o concreto seco no estado fresco possui propriedades intimamente ligadas àquelas no estado endurecido, de uma forma muito mais intensa do que no concreto plástico.

2.2.2 Cimento Portland

Petrucci (1981) define cimento Portland como um material pulverulento constituído de um conjunto de compostos químicos, que misturados com água, hidratam-se e produzem o endurecimento da massa, obtendo elevada resistência mecânica.

A NBR 9781 (ASSOCIAÇÃO..., 1987) comenta que as peças de concreto para pavimentação podem ser fabricadas com qualquer tipo e classe de cimento Portland. Embora, para Oliveira (2004), o cimento mais adequado a ser utilizado nas indústrias de pré-moldados deve ser o de alta resistência inicial, como o Cimento Portland de Alta Resistência Inicial (CP V-ARI), pois as peças alcançam níveis de resistência mecânica bastante elevada já nas primeiras idades. Ademais, o referido autor comenta sobre outras vantagens muito importantes que são a rápida liberação

das grades e das câmaras de cura, com menos de 24 horas, a diminuição do índice de quebra durante a desforma e paletização, e a redução do tempo de produção.

Entretanto, os demais cimentos não devem ser excluídos, apenas quando empregados, devem ser realizados certas precauções com a cura térmica e o emprego de estoques, para que assim atinjam os níveis de resistência desejados (RODRIGUES, 1984).

2.2.3 Agregado Graúdo

De acordo com Petrucci (1981), agregado graúdo define-se como um material de origem natural, seixo rolado, ou artificial, pedra britada, proveniente do britamento de rochas estáveis, com um máximo de 15% passando na peneira de 4,8mm. Oliveira (2004) recomenda o uso de agregados de origem de britagem, britas 4,75/12,5, correspondente a classificação de Brita "0" da NBR 7211 (1983), na fabricação de peças pré-moldadas para pavimentação por apresentarem melhor aderência com a pasta de cimento. Ainda, conforme Rodrigues (1984), os agregados utilizados nas peças de concreto para pavimentação devem possuir diâmetros inferiores a 9,5mm devido à dimensão da peça e a fim de obter melhorias na textura superficial. Os agregados graúdos são normatizados pela NBR 7211 (ASSOCIAÇÃO..., 2009).

2.2.4 Agregado Miúdo

Da mesma forma como o agregado graúdo, o agregado miúdo pode ser de origem natural, areia quartzosa, ou artificial, resultante do britamento de rochas estáveis, todavia com um máximo de 15% de partículas retidas na peneira 4,8mm (PETRUCCI, 1981). Segundo Oliveira (2004), a areia natural é o agregado miúdo mais recomendado para a confecção dos pré-moldados para pavimentação por sua disponibilidade e forma arredondada, que facilita a moldagem. Além disso, a areia zona ótima, com módulos de finura variando entre 2,20 e 2,90, segundo a NBR 7211

(ASSOCIAÇÃO..., 2009), é a mais utilizada pelos fabricantes de peças de concreto para pavimentação (OLIVEIRA, 2004).

2.2.5 Água

Segundo Petrucci (1981), comumente se diz que a água que serve para beber é a mesma água que serve para o concreto, porém nem sempre a água que pode ser utilizada para a produção de concretos possui qualidade para ser ingerido pelo homem. Ou seja, a água não deve possuir impurezas que venham a prejudicar as reações entre o cimento e ela. Dessa forma, a água proveniente pela rede de abastecimento é satisfatória para a confecção do concreto.

2.2.6 Aditivos

Os aditivos são definidos pela NBR 11768 (ASSOCIAÇÃO..., 1992) como substâncias que são adicionadas intencionalmente, em pequenas quantidades, ao concreto com a finalidade de modificar algumas de suas propriedades para melhor adequá-las a determinadas necessidades. Conforme Rodrigues (1984), os aditivos incorporadores de ar e os pigmentos são aqueles usados na execução das peças de concreto para pavimentação.

De acordo com Rodrigues (1984), os aditivos incorporadores de ar são substâncias orgânicas que introduzem micro bolhas de ar no concreto. Essas minúsculas bolhas têm por principal finalidade o aumento da durabilidade e plasticidade do concreto (PETRUCCI, 1981). Segundo Prudêncio (2007), as bolhas geradas pelo aditivo referido reduzem a tensão superficial da água e assim facilitam o deslizamento entre o cimento e os agregados, possibilitando ao concreto maior plasticidade e homogeneidade.

Os pigmentos são substâncias que proporcionam uma coloração específica ao concreto. Segundo Shackel (1990), os pigmentos são classificados em orgânicos e inorgânicos. Além disso, o referido autor comenta que os pigmentos inorgânicos,

que são obtidos de materiais sintéticos ou minerais naturais, óxidos, são os mais utilizados por serem mais estáveis e possuírem uma maior durabilidade.

Conforme Cruz (2003), os pigmentos são geralmente dosados na proporção de 3 a 5% de massa do aglomerante, variando para mais ou para menos de acordo com o requerido. Dessa forma, apesar dessas substâncias corantes serem inertes na hidratação do cimento, elas alteram tanto a trabalhabilidade do concreto quanto as propriedades mecânicas finais devido à elevada finura de suas partículas (RODRIGUES, 1984).

Ademais, segundo Cruz (2003), há no mercado a comercialização de pigmentos de uma gama de cores, contudo o uso de cada cor está condicionado ao custo. As cores mais utilizadas são o cinza, ocre, vermelho e amarelo (CRUZ, 2003).

2.2.7 Adições

Prudêncio (2007) define adições como materiais que modificam as propriedades que o aglomerante confere ao concreto, se misturados aos cimentos em quantidades maiores do que 5% em massa. Inclusive, o referido autor cita que no Brasil praticamente todos os cimentos produzidos e comercializados possuem um ou mais tipos de adições. Desse modo, de acordo com Oliveira (2004), na produção de peças de concreto para pavimentação as adições minerais, cinzas volantes e escórias de alto-forno, são as mais utilizadas pelos fabricantes.

Resultantes da combustão de carvão mineral das usinas termoelétricas e da fabricação do ferro fundido, as cinzas volantes e as escórias de alto-forno, respectivamente, promovem uma melhor trabalhabilidade e coesão às misturas, além de reduzirem a deterioração das peças pela ação de ácidos devido aos seus efeitos pozolânicos (OLIVEIRA, 2004).

2.3 DOSAGEM DE PEÇAS DE CONCRETO PARA PAVIMENTAÇÃO

Na dosagem de um concreto para produção de peças para pavimentação, o principal objetivo é atender os critérios recomendados pela ABNT (OLIVEIRA, 2004). Contudo, o acabamento superficial do produto é de suma importância aos fabricantes, à medida que os clientes avaliam a qualidade das peças em função dessa textura superficial, embora não haja prescrições normativas e métodos de ensaio para isso (OLIVEIRA, 2004).

Segundo Cruz (2003), a dosagem consiste na escolha e mistura dos agregados que se enquadrem em uma faixa granulométrica específica, que varia de acordo com os equipamentos empregados.

Ou seja, a dosagem é dependente do tipo e regulagem do equipamento de vibro-compressão utilizado e, desse modo, os métodos existentes para dosagem são baseados em procedimentos experimentais, com excessivos ajustes, tornando-os lentos e onerosos (OLIVEIRA, 2004).

2.4 MOLDAGEM DE PEÇAS DE CONCRETO PARA PAVIMENTAÇÃO

Oliveira (2004) cita que a etapa de mistura e moldagem é a que mais exerce influência sobre as propriedades finais das peças. Nessa etapa, é realizada a moldagem das peças por um mecanismo de vibro prensagem, envolvendo o emprego de equipamentos de vibro compressão, que realizam a máxima compacidade da mistura seca por meio do conjunto da dosagem com a potência e vibração do equipamento (CRUZ, 2003).

Esse mecanismo adotado deve-se à baixa quantidade de água utilizada no concreto (OLIVEIRA, 2004). A Figura 7 mostra um equipamento de vibro prensagem.



Figura 7 - Exemplo de equipamento de vibro prensagem
Fonte: Autoria própria.

Esses equipamentos de vibro prensas são multifuncionais e são utilizados na produção de outros produtos de artefatos de concreto, tais como: blocos, meio fio, grelhas, placas entre outros (CRUZ, 2003).

Esse processo mecânico e industrial permite a produção em escala e, além da alta produtividade, um controle da homogeneidade das resistências mecânicas, dimensões e textura das peças produzidas (SHACKEL, 1990).

2.5 CURA DE PEÇAS DE CONCRETO PARA PAVIMENTAÇÃO

Conforme Petrucci (1981), o termo cura define-se como o conjunto de processos que tem a intenção de evitar a evaporação prematura da água, que garante a hidratação do cimento e a qualidade do concreto. Segundo o referido autor, as condições de umidade e temperatura possuem grande importância nas propriedades do concreto endurecido.

A cura de peças de concreto para pavimentação pode ser feita de várias maneiras. Segundo Cruz (2003), a mais simplificada consiste na aspersão de água sobre as peças de acordo com a secagem das mesmas. Conforme o referido autor, outro método de fácil execução é o cobrimento das peças com uma lona impermeável, afim de que a água não evapore diretamente ao ambiente. Ainda, há

métodos de maior complexidade, no entanto de maior eficiência, como a estocagem das peças em câmaras úmidas (CRUZ, 2003). A Figura 8 ilustra uma câmara de cura úmida para *pavers*.

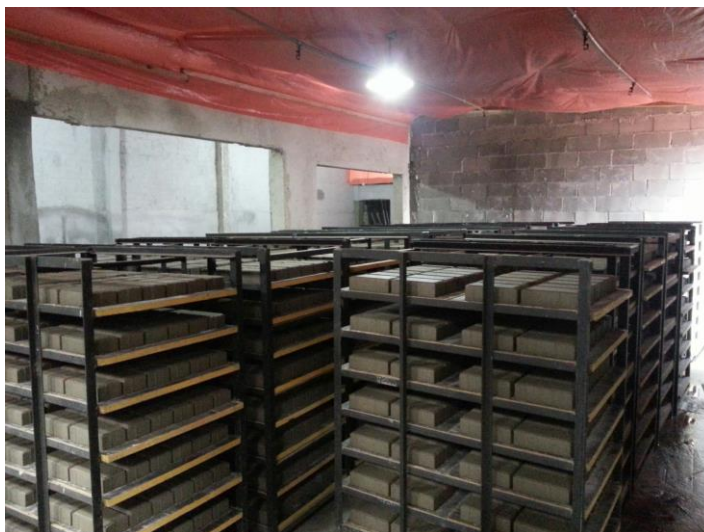


Figura 8 - Cura úmida de peças de concreto para pavimentação
Fonte: Autoria própria.

2.6 PROPRIEDADES DAS PEÇAS DE CONCRETO PARA PAVIMENTAÇÃO

2.6.1 Massa Específica no Estado Endurecido

Segundo Petrucci (1981), a massa específica é uma relação entre a massa e o volume do material analisado. Conforme o referido autor, possui dois tipos de massa específica, a real e a aparente, na qual a primeira não considera o volume de vazios presentes no material, ou seja, o volume de ar presente na peça, já na segunda considera esses vazios. Conforme Prudêncio (2007), a massa específica do concreto é um excelente parâmetro que permite definir a carga devido ao peso próprio que a estrutura se sujeitará. Ademais, essa característica será de suma importância na correlação com as resistências à compressão (OLIVEIRA, 2004).

2.6.2 Resistência Mecânica à Compressão

No Brasil, a resistência mecânica à compressão é a única propriedade mecânica especificada pela norma NBR 9781 (ASSOCIAÇÃO..., 1987), para peças de concreto para pavimentação. Segundo Oliveira (2004), esse parâmetro é o mais importante no controle de qualidade das peças.

A NBR 9781 (ASSOCIAÇÃO..., 1987), determina que a resistência característica estimada à compressão deve ser superior ou igual a 35 MPa para tráfego de veículos leves e a 50 MPa para tráfego de veículos pesados. Para determinação dos valores de resistência à compressão, a referida norma exige que sejam executados ensaios de carregamento parcial, prescrito pela NBR 9780 (ASSOCIAÇÃO..., 1987). O ensaio de carregamento parcial será descrito no item 5.3.

2.6.3 Resistência Mecânica à Tração

Segundo Prudêncio (2007), a grande importância da resistência mecânica à tração em concretos está ligada na aplicação em pavimentos. Inclusive, as normas européias prescrevem sobre os limites aceitáveis a resistência à tração e formas de ensaios nas peças de concreto para pavimentação (OLIVEIRA, 2004).

Para obtenção dos valores de resistência à tração há dois ensaios distintos de medição indireta desse esforço, ensaio de tração por compressão diametral, ou *split test*, e ensaio de tração na flexão, como é apresentado na Figura 9 (OLIVEIRA, 2004). Ainda, segundo Prudêncio (2007), a resistência à tração de concretos é 10 a 20% da resistência à compressão.

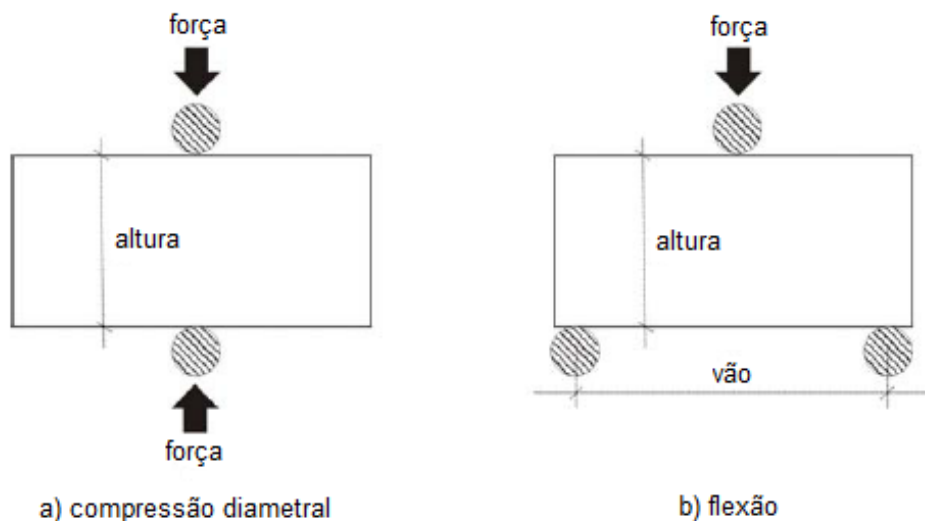


Figura 9 - Detalhe dos ensaios de resistência à tração
Fonte: OLIVEIRA, 2004.

2.6.4 Absorção de água total e por capilaridade

Da mesma forma como a resistência à tração, a absorção de água das peças de concreto para pavimentação é recomendada por normas estrangeiras e não pela norma brasileira. De acordo com Oliveira (2004), sua importância é maior em países que possuem clima muito frio, devido à ação do gelo e degelo. Porém, essa propriedade torna-se cada vez mais importante com a valorização da sustentabilidade. No caso da absorção total, há uma relação desse parâmetro com a resistência à compressão, ao passo que ela determina a existência de poros, ou seja, a quantidade de vazios, sendo esses poros prejudiciais à resistência. Já para a absorção por capilaridade, essa propriedade torna-se importante na definição da retenção da água da chuva pelas peças.

2.7 CONTROLE DE QUALIDADE

No Brasil, a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) fornece um selo da qualidade. Essa certificação é um indicativo para os clientes que os produtos

comercializados atendem às normas técnicas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). A ABCP possui três tipos de selos de qualidade para produtos à base de cimento, sendo um para cada tipo de produto: cimento, blocos de concreto para alvenaria e pavimentação e blocos de concreto celular autoclavado.

Segundo a ABCP, apenas sete empresas paranaenses possuem esse selo e, dentre elas, cinco empresas estão na região metropolitana de Curitiba, onde há 86 empresas no total.

3 METODOLOGIA

Para realizar a avaliação das propriedades das peças de concreto para pavimentação utilizadas nas vias de passeio dos quatro lotes do Anel Viário de Curitiba, a metodologia foi dividida em três etapas: coletar as amostras, avaliar as propriedades e correlacionar os resultados. A seguir serão descritas cada uma dessas etapas.

3.1 COLETA DAS AMOSTRAS

3.1.1 Número de Amostras

A NBR 9781 (ASSOCIAÇÃO..., 1987) especifica apenas a quantidade das amostras para verificação da resistência à compressão, que deve ser de no mínimo seis peças. O número de amostras por lote foi definido em função dos ensaios realizados: 8 peças de concreto para pavimentação intertravadas para determinação da resistência à compressão, 6 para determinação da resistência à tração e 6 para determinação da absorção total e absorção de água por capilaridade. Assim foram coletados no total de 20 unidades por lote, de quatro empresas diferentes (empresa A, empresa B, empresa C e empresa D). Cabe ressaltar que para todas as peças foram analisadas as dimensões, e a massa específica no estado endurecido somente para as peças que serão submetidas ao ensaio de resistência à compressão, para posteriormente estabelecerem-se correlações entre as propriedades.

3.1.2 Autorizações

Para a coleta das amostras foi optado pela coleta de peças nas fábricas das empresas que forneceram o produto para cada lote.

3.1.3 Localização da utilização das amostras

O projeto do Anel Viário previu a revitalização das calçadas, conforme descrito no item 1, de um conjunto de 23 ruas que formam um anel ao redor do centro de Curitiba, conforme Figura 10, passando por oito bairros: Rebouças, Alto da XV, Alto da Glória, Centro Cívico, Bom Retiro, Mercês, Batel e Água Verde. Para execução das obras, o anel foi dividido em quatro lotes: norte, sul, leste e oeste.



Figura 10 - Anel Viário de Curitiba
Fonte: Prefeitura Municipal de Curitiba.

Dessa maneira, as peças de concreto para pavimentação foram coletadas nas fábricas das empresas que as forneceram para execução de cada lote, sendo denominadas de empresa A, empresa B, empresa C e empresa D.

3.2 AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES DAS AMOSTRAS

Em cada lote foram avaliadas as seguintes propriedades: geometria, massa específica no estado endurecido, resistência à compressão e resistência à tração, absorções de água total e absorção de água por capilaridade. A seguir serão descritos os procedimentos para a determinação das propriedades.

3.2.1 Geometria das amostras

A geometria das peças de concreto para pavimentação é um dos parâmetros exigidos pela NBR 9781 (ASSOCIAÇÃO..., 1987), sendo a variação das dimensões das peças limitada. Assim, todas as 80 peças foram inicialmente medidas, por meio de paquímetro com precisão de 0,1 mm. Foram medidos a altura, largura e comprimento das peças de concreto para pavimentação. A norma referida limita as dimensões da seguinte forma: comprimento máximo igual a 40 cm (com variação permissível de 3 mm), largura mínima igual a 10 cm (com variação permissível de 3 mm), e altura mínima igual a 6 cm (com variação permissível de 5 mm).

3.2.2 Massa Específica do Estado Endurecido

Todas as 8 amostras por lote que foram determinadas a resistência à compressão, também foram avaliadas a massa específica aparente no estado endurecido. Desse modo, as peças foram pesadas para conhecimento de suas massas iniciais e saturadas para o valor da massa saturada. Ademais, foi preciso o conhecimento da massa imersa para obtenção do volume da peça. Sendo assim, foi necessário pesá-las dentro da água, por meio de balança específica que possibilitou a colocação de uma espécie de balde de água abaixo dela, um cesto imerso no balde e pendurado na balança, que permitiu determinar o peso do que estiver no cesto, de maneira que a amostra permaneceu ao mesmo tempo imersa em água e

pendurada na balança. As Figuras 11 e 12 demonstram a determinação da massa imersa.



Figura 11 - Determinação da massa imersa
Fonte: Autoria própria.



Figura 12 - Determinação da massa imersa
Fonte: Autoria própria.

Obtidos tais valores, determinou-se o volume de cada peça subtraindo os valores de massa saturada pela massa imersa. Com os valores da massa inicial de cada peça e o valor do volume de cada peça, calculou-se a massa específica no estado endurecido de acordo com a equação (1), descrita a seguir:

$$\text{Massa Específica (d)} = \frac{M_i}{V_m} \text{ g/cm}^3 \quad (1)$$

Em que “d” representa a massa específica aparente em gramas por centímetro cúbico (g/cm^3), “ M_i ” a massa inicial em gramas (g) e “ V_m ” o volume em centímetros cúbicos (cm^3).

3.2.3 Resistência Mecânica à Compressão – Carregamento Parcial

Para obtenção da resistência à compressão das peças, o ensaio recomendado pela NBR 9781 (ASSOCIAÇÃO..., 1987) é o de carregamento parcial, como já mencionado no item 2.3.2. Primeiramente foi necessário realizar o capeamento das duas faces das amostras com pasta de cimento, com espessura inferior a 3 mm, conforme recomendação da NBR 9780 (ASSOCIAÇÃO..., 1987). Conforme a norma, as peças devem estar saturadas durante o rompimento, por

consequente, foi necessário colocá-las imersas em água em um tanque para saturação por no mínimo 24 horas. Vale ressaltar que a idade das peças estava superior aos 28 dias.

O carregamento foi executado por meio de duas pastilhas circulares, com diâmetro de 9 cm, confeccionadas de aço, dispostas perfeitamente alinhadas e em contato com as duas faces, conforme Figura 13. Esse equipamento produziu uma carga progressiva e sem choques, conforme exige a NBR 9780 (ASSOCIAÇÃO..., 1987).



Figura 13 - Carregamento parcial
Fonte: Autoria própria.

Após o rompimento, o equipamento forneceu os valores da carga final aplicada. Com o valor da carga, determinou-se a tensão por compressão através da equação (2):

$$\text{Tensão } (\sigma) = \frac{\text{Força}}{\text{Área}} \text{ MPa} \quad (2)$$

Em que “ σ ” representa a tensão por compressão em megapascal (MPa), a força é a carga aplicada em Newton (N) e a área é expressa em milímetros quadrados (mm²). Cabe ressaltar que a área adotada compreende a área da base da pastilha de diâmetro igual a 9 cm.

Ainda, conforme a NBR 9780 (ASSOCIAÇÃO..., 1987), há um valor multiplicativo “p” no qual seu valor varia de acordo com altura nominal da peça, e

altera o valor da resistência da peça. No caso deste trabalho o valor de “p” é 0,95, já que a altura da peça possui o valor de 6 cm.

Segundo a NBR 9780 (ASSOCIAÇÃO..., 1987), para o valor da resistência característica do lote é necessário que as resistências obedecem à distribuição normal sendo o valor de resistência característica estimada subtraindo-se a média, pelo produto entre o desvio padrão e o coeficiente de Student, que é fornecido pela norma em função do tamanho da amostra.

3.2.4 Resistência Mecânica à Tração – Tração por Compressão Diametral

De acordo com o item 2.3.3, para a determinação da resistência à tração foi adotado o ensaio de tração por compressão diametral ou *split test*. Conforme determina Petrucci (1981), todos os corpos de prova estavam devidamente saturados, similarmente a condição utilizada no carregamento parcial.

O carregamento foi executado por meio de duas barras cilíndricas, confeccionadas de aço, dispostas perfeitamente alinhadas e em contato com as duas faces, conforme Figura 14, em que a superfície de rolamento da peça estava em contato com a barra superior do equipamento de ensaio.



Figura 14 - Compressão diametral
Fonte: Autoria própria.

As barras geram um esforço de tração na peça que, segundo Petrucci (1981), é calculado por meio da equação (3):

$$\text{Tração } (\sigma) = \frac{2 \cdot P}{\pi \cdot h \cdot L} \text{ MPa} \quad (3)$$

Em que “ σ ” representa a tensão por tração em MPa, “P” é a carga em N, “h” é a altura e “L” a largura, ambos em mm.

3.2.5 Absorção de Água Total:

Para determinação da absorção de água total foi necessário obter os valores da massa saturada e da massa seca das peças de concreto para pavimentação. Para a massa saturada, saturou-se a peça inicialmente, pelo mesmo processo já descrito no item 3.2.3. Já para a massa seca, colocou-se a peça em estufa à temperatura de 60°C, em aproximadamente 24 horas. Por último, a absorção de água total foi calculada por meio da equação (4) a seguir:

$$\text{Absorção de água total} = \frac{M_{\text{sat}} - M_{\text{seca}}}{M_{\text{seca}}} \cdot 100 \% \quad (4)$$

Em que “ M_{sat} ” representa a massa saturada e “ M_{seca} ” é a massa seca, ambas em g.

3.2.6 Absorção de Água por Capilaridade

Para o ensaio de absorção de água por capilaridade, necessitou-se da determinação da peça seca, iniciou-se um processo de pesagem dinâmico que consistiu na imersão da amostra em um recipiente com uma lâmina de água de cinco milímetros, repondo sempre que necessário a água de forma que o nível não

diminua, e realizou-se a pesagem da amostra com 1, 5, 15 e 30 minutos de absorção.

Por meio dos valores das massas, determinou-se para cada tempo pré-determinado qual foi a absorção, pela equação (5) descrita a seguir. Com esses valores, plotou-se um gráfico da absorção de água pelo tempo.

$$\text{Absorção de água por capilaridade "t"} = \frac{M_t - M_{\text{seca}}}{C \cdot L} \text{ g/cm}^2 \quad (5)$$

Em que “t” é o valor dos minutos referente a cada pesagem, “Mt” representa a massa respectiva no tempo “t”, “Mseca” é a massa seca, e as duas últimas em g, “C” representa o comprimento e “L” a largura, ambos em cm.

Além disso, o valor do IRA foi determinado dividindo a absorção com 1 minuto por 193,55 cm². A Figura 15 mostra o ensaio de absorção de água por capilaridade.



Figura 15 - Absorção de água por capilaridade
Fonte: Autoria própria.

4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Todos os resultados foram analisados por métodos estatísticos, coeficiente de variação próximo ou menor que dez por cento, para que os valores das médias representem com maior veracidade os lotes. Todos os valores obtidos estão em anexo.

4.1 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO INDIVIDUAL

A seguir serão apresentados os seguintes resultados: geometria, massa específica, resistência à compressão, resistência à tração, absorção total e absorção de água por capilaridade.

4.1.1 Geometria

Conforme descrito no item 3.2.1, a NBR 9781 (ASSOCIAÇÃO..., 1987) normatiza as dimensões das peças da seguinte forma: comprimento máximo igual a 40 cm (com variação permissível de 3 mm), largura mínima igual a 10 cm (com variação permissível de 3 mm), e altura mínima igual a 6 cm (com variação permissível de 5 mm). Ainda, os *pavers* estudados eram comercialmente vendidos pelas dimensões de 6 cm de altura por 20 cm de comprimento e 10 cm de largura. Na Tabela 1 são apresentados os valores individuais menores e maiores com o coeficiente de variação e a média para todos os lotes avaliados.

Tabela 1 - Valores representativos das dimensões dos quatro lotes analisados

Lote	(cm)	Menor Valor	Maior Valor	Média	Coef. Variação
A	Altura	5,9	6,2	6,1	1,54%
	Comprimento	20,0	20,2	20,1	0,28%
	Largura	10,1	10,2	10,1	0,39%
B	Altura	5,8	6,2	6,1	1,97%
	Comprimento	20,0	20,3	20,1	0,32%
	Largura	10,1	10,2	10,1	0,50%
C	Altura	5,9	6,3	6,2	8,61%
	Comprimento	20,0	20,3	20,1	8,70%
	Largura	10,0	10,2	10,1	6,70%
D	Altura	6,0	6,3	6,2	1,38%
	Comprimento	20,0	20,2	20,1	0,28%
	Largura	10,0	10,1	10,0	0,42%

Fonte: Autoria própria.

Observa-se na Tabela 1, com relação a altura o menor valor encontrado foi no lote B, com 5,8 cm, e o maior valor no lote D, com 6,3 cm. Já para o comprimento, o valor mais baixo foi de 20,0 cm, no lote D, e o valor mais alto foi de 20,3 cm, no lote C. Na largura, o menor valor foi verificado no lote D, com 10,0 cm, e o maior valor no lote B, com 10,2 cm. Por fim, vale ressaltar que o lote C apresentou os maiores níveis de variações, como demonstra a coluna de Coeficiente de Variação na Tabela 1. No entanto, todas as peças dos quatro lotes estão em conformidade com as exigências da norma.

4.1.2 Massa Específica no Estado Endurecido

O Gráfico 1 ilustra os valores individuais da massa específica aparente (g/cm^3) e o Gráfico 2 a média dos lotes e coeficiente de variação.

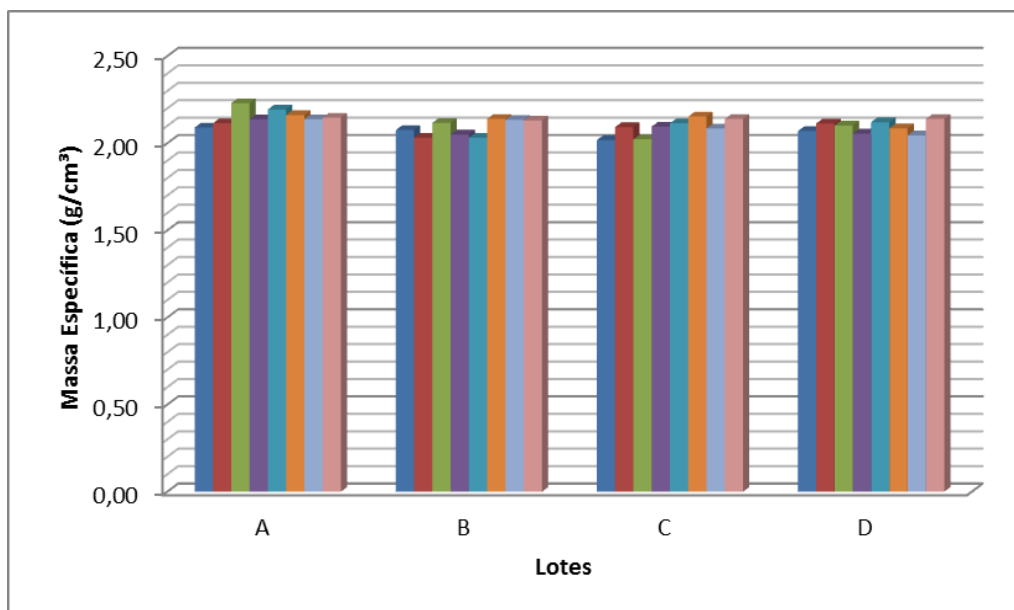


Gráfico 1 – Valores individuais da massa específica aparente obtida dos quatro lotes analisados

Fonte: Autoria própria.

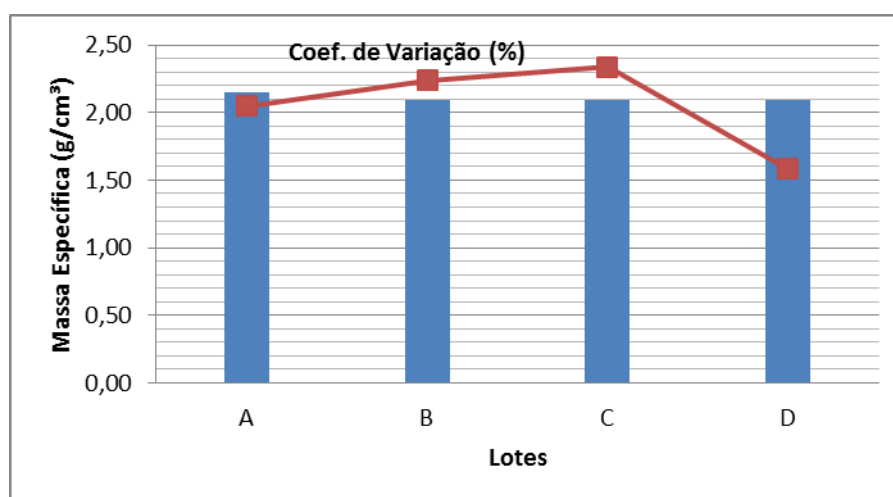


Gráfico 2 - Média da massa específica aparente dos quatro lotes e coeficiente de variação

Fonte: Autoria própria.

Conforme o Gráfico 1, a maior massa específica foi encontrada na peça do lote A, com $2,23 \text{ g/cm}^3$, e a menor no lote C, com $2,02 \text{ g/cm}^3$. Com relação à média, segundo Gráfico 2, a maior média foi obtida no lote A, com $2,15 \text{ g/cm}^3$, e o menor no lote B, com $2,09 \text{ g/cm}^3$. Mais uma vez é importante salientar que o coeficiente de variação foi maior no lote C e que este parâmetro não é estipulado por norma.

Para efeito de comparação, os valores obtidos ficaram próximos aos valores apresentados pela pesquisa do Oliveira (2004), que ficaram na média de $2,15 \text{ g/cm}^3$.

4.1.3 Resistência à Compressão

Conforme o item 2.3.2, a resistência à compressão é a propriedade mais importante das peças de concreto para pavimentação e a norma NBR 9781 (ASSOCIAÇÃO..., 1987) exige no mínimo o valor de 35 MPa de resistência característica do lote.

O Gráfico 3 mostra os valores individuais da resistência à compressão (MPa) e o valor da resistência característica (F_{pk}) de cada lote. O Gráfico 4 representa a média dos lotes e coeficiente de variação.

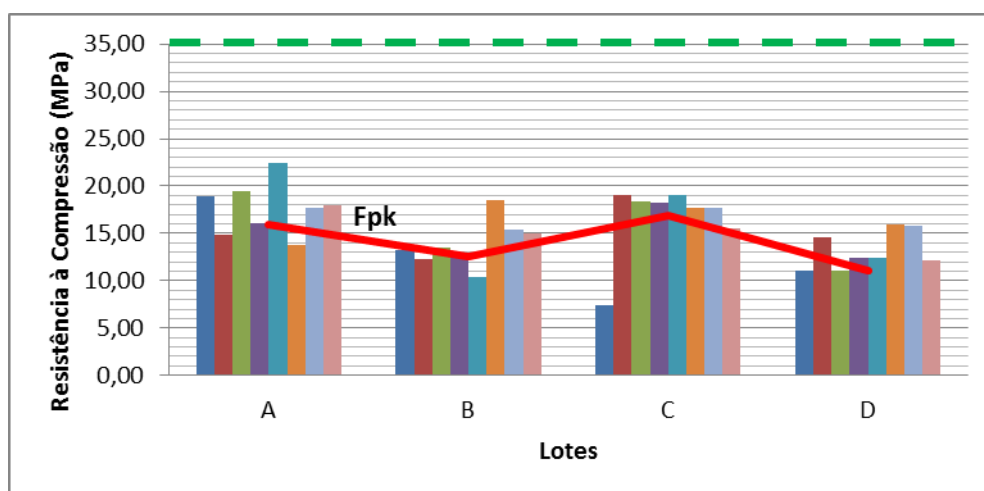


Gráfico 3 - Valores individuais e resistência característica da resistência à compressão obtida dos quatro lotes analisados
Fonte: Autoria própria.

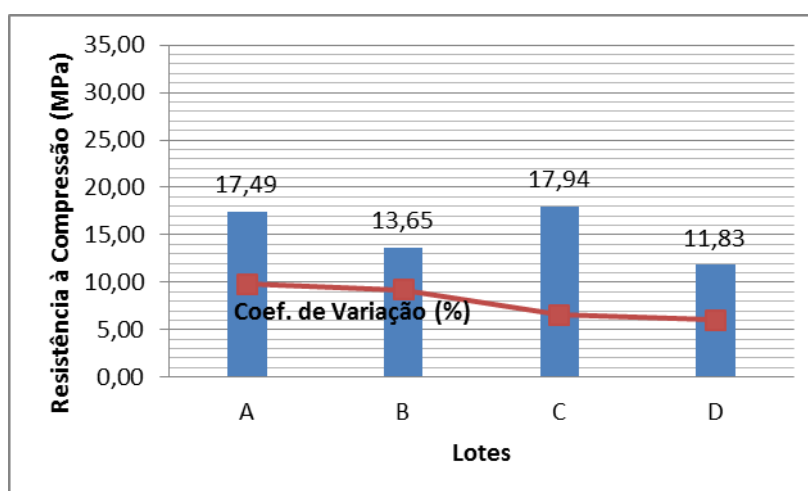


Gráfico 4 - Média da resistência à compressão dos quatro lotes e coeficiente de variação
Fonte: Autoria própria.

Conforme o Gráfico 3, a maior resistência à compressão foi encontrada na peça do lote A, com 22,49 MPa, e a menor no lote C, com 7,43 MPa. Com relação à resistência característica (F_{pk}), o lote C apresentou o maior valor, com 16,87 MPa, e o lote D o menor valor, com 11,09 MPa. Analisando a média, segundo Gráfico 4, o maior valor esteve presente no lote C, com 17,94 MPa, e o menor no lote D, com 11,83 MPa. Além disso, o coeficiente de variação foi maior no lote A.

Observa-se que nenhuma das peças dos lotes analisados atingiu a resistência mínima exigida na norma de 35 MPa.

4.1.4 Resistência à Tração

O Gráfico 5 ilustra os valores individuais da resistência à tração (MPa) e o Gráfico 6 a média dos lotes e coeficiente de variação.

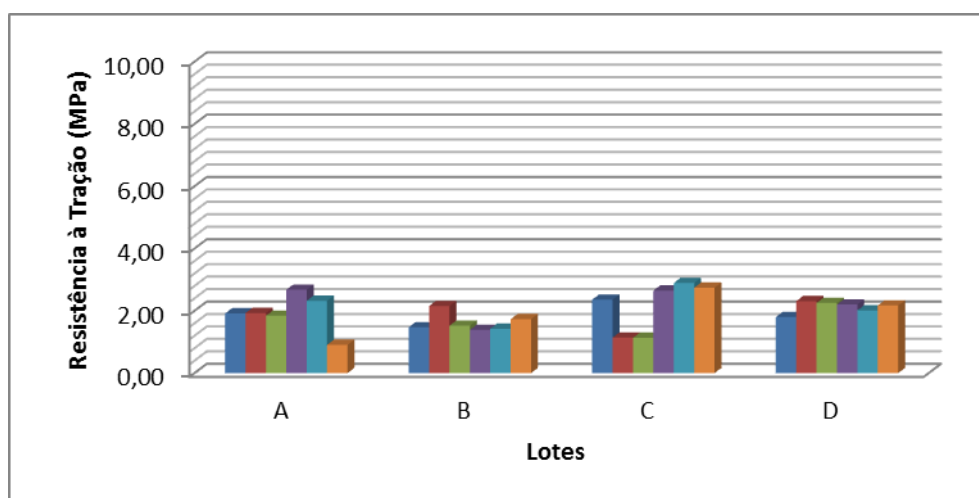


Gráfico 5 - Valores individuais da resistência à tração obtida dos quatro lotes analisados
Fonte: Autoria própria.

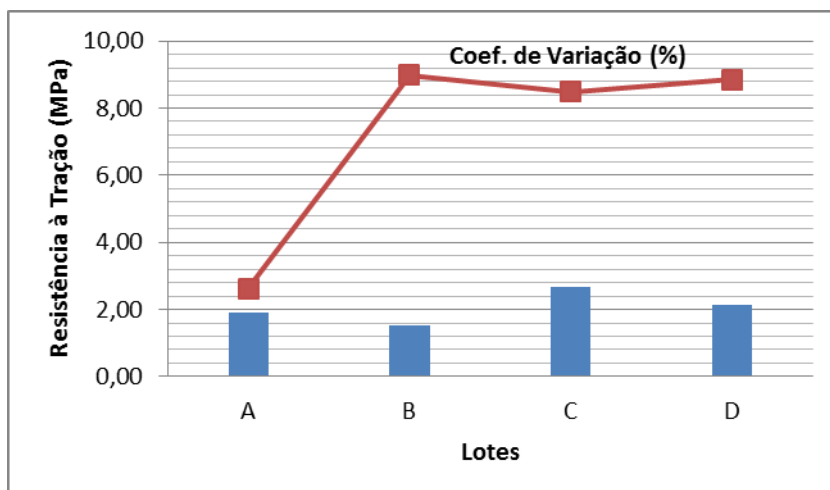


Gráfico 6 - Média da resistência à tração dos quatro lotes e coeficiente de variação
Fonte: Autoria própria.

Conforme o Gráfico 5, a maior resistência à tração foi observada na peça do lote C, com 2,89 MPa, e a menor no lote A, com 0,91 MPa. Com relação à média, segundo Gráfico 6, a maior média foi no lote C, com 2,66 MPa, e a menor no lote B, com 1,51 MPa. Ainda, analisando os dados do Gráfico 5, o lote C e o lote B apresentaram grande coeficiente de variação.

4.1.5 Absorção de Água Total

O Gráfico 7 mostra os valores individuais da absorção de água total (%) e o Gráfico 8 a média dos valores dos lotes e coeficiente de variação.

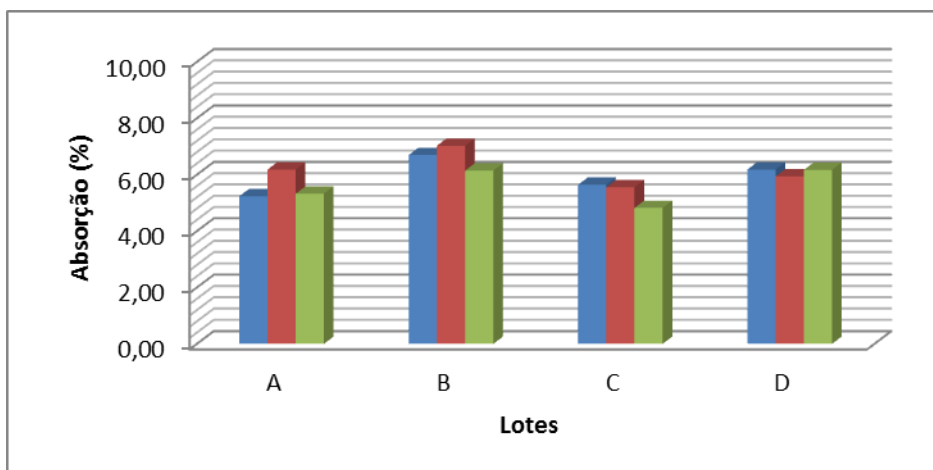


Gráfico 7 - Valores individuais da absorção de água total obtida dos quatro lotes analisados
Fonte: Autoria própria.

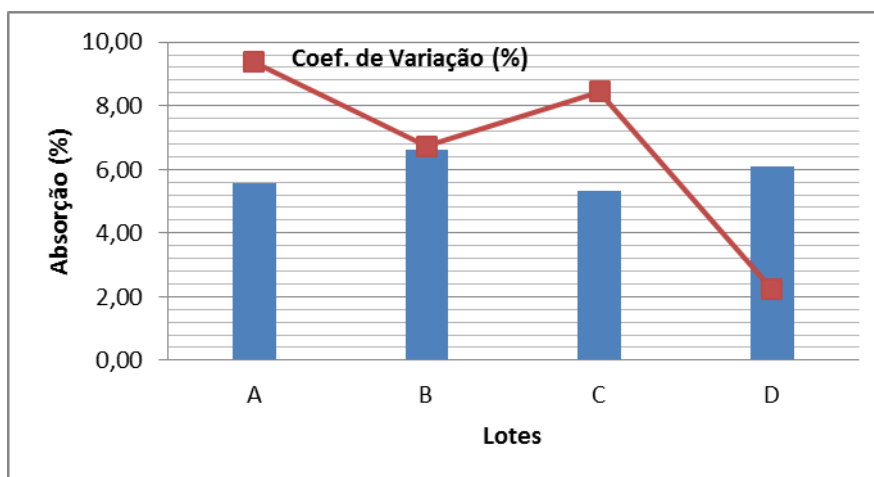


Gráfico 8 - Média da absorção de água total dos quatro lotes e coeficiente de variação
Fonte: Autoria própria.

Conforme o Gráfico 7, a maior absorção de água total foi obtida na peça do lote B (7,02%), e a menor no lote C (4,82%). Analisando a média (Gráfico 8) a maior média foi no lote B, com 6,62%, e a menor no lote C, com 5,34%. O coeficiente de variação foi maior no lote A.

4.1.6 Absorção de Água por Capilaridade

O Gráfico 9 ilustra a média dos valores da absorção de água por capilaridade de cada lote (g/cm^2) em função do tempo (min). O Gráfico 10 representa os valores do IRA ($\text{g}/193,55\text{cm}^2$) de cada peça e o Gráfico 11 a média dos valores dos lotes e coeficiente de variação.

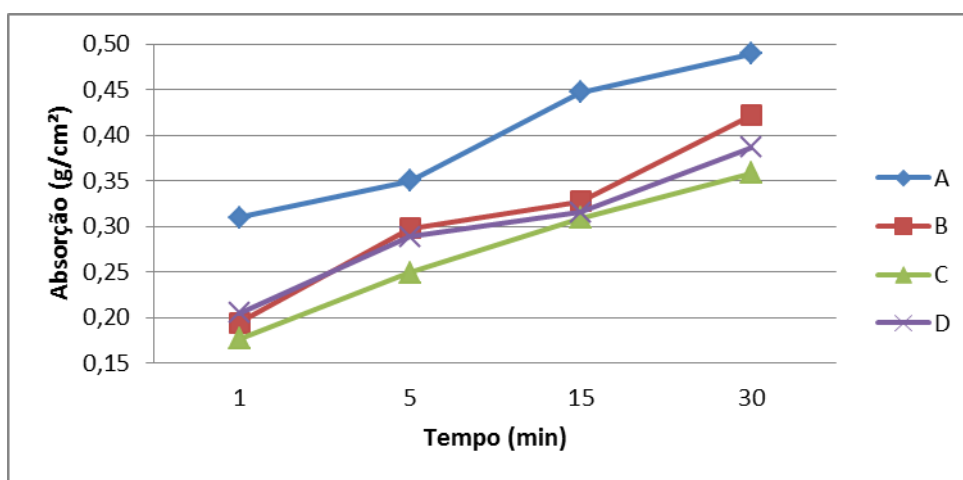


Gráfico 9 – Média da absorção de água por capilaridade em função do tempo obtida de cada lote
 Fonte: Autoria própria.

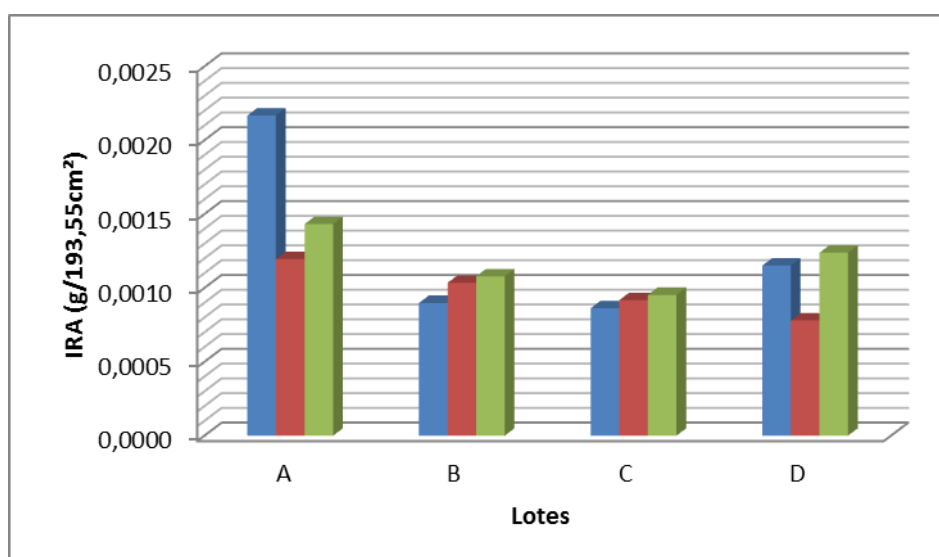


Gráfico 10 - Valores individuais da absorção de água por capilaridade - IRA obtida dos quatro lotes analisados
 Fonte: Autoria própria.

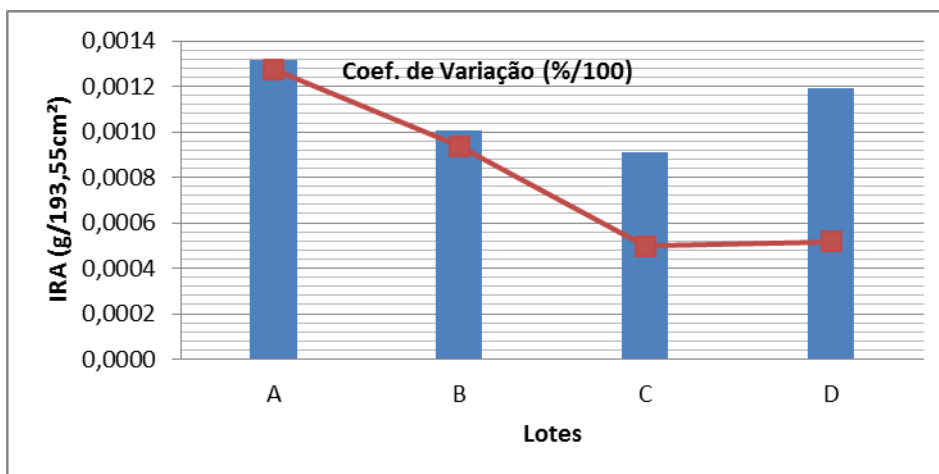


Gráfico 11 - Média da absorção de água por capilaridade – IRA dos quatro lotes e coeficiente de variação

Fonte: Autoria própria.

Conforme o Gráfico 9, a maior absorção por capilaridade foi obtida no lote A, e a menor no lote C. Com relação ao IRA, segundo Gráfico 10, o maior valor esteve presente no lote A, com 0,0022 g/193,55cm², e o menor no lote D, com 0,0008 g/193,55cm². Analisando a média do IRA, conforme Gráfico 5, o maior valor esteve presente no lote A, com 0,0013 g/193,55cm², e o menor no lote C, com 0,0009 g/193,55cm². Além disso, o coeficiente de variação foi maior no lote A.

4.1.7 Correlação entre as Propriedades

4.1.7.1 Massa Específica Aparente x Resistência à Compressão

No estudo realizado por Oliveira (2004), existe uma relação direta entre a massa específica aparente e a resistência à compressão, conforme comentado no item 2.3.1. Assim, o Gráfico 12, o Gráfico 13, o Gráfico 14 e o Gráfico 15 demonstram a relação dessas propriedades de cada lote.

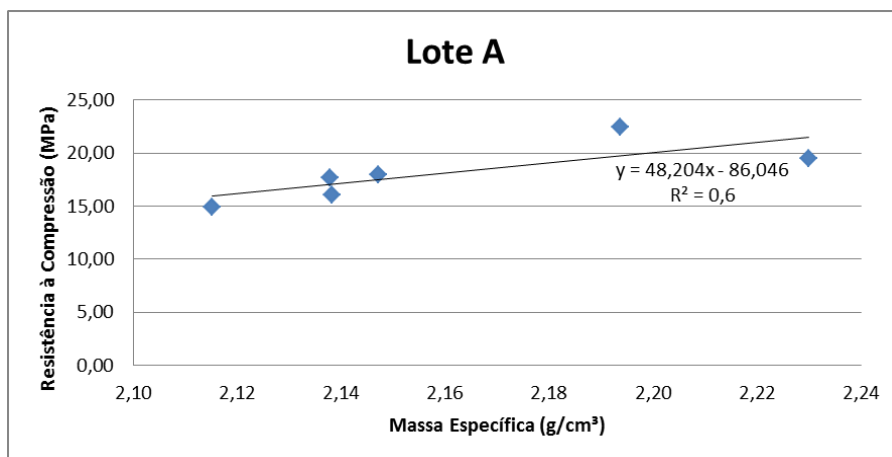


Gráfico 12 – Relação entre resistência à compressão e a massa específica aparente das peças do lote A
Fonte: Autoria própria.

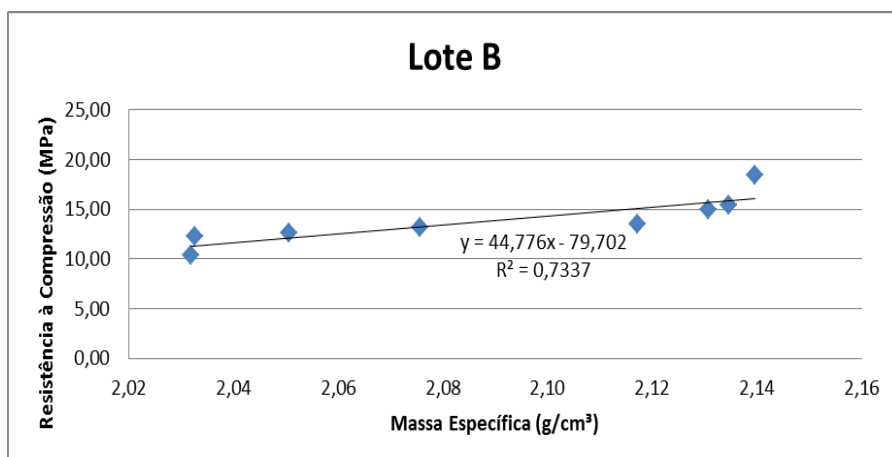


Gráfico 13 – Relação entre resistência à compressão e a massa específica aparente das peças do lote B
Fonte: Autoria própria.

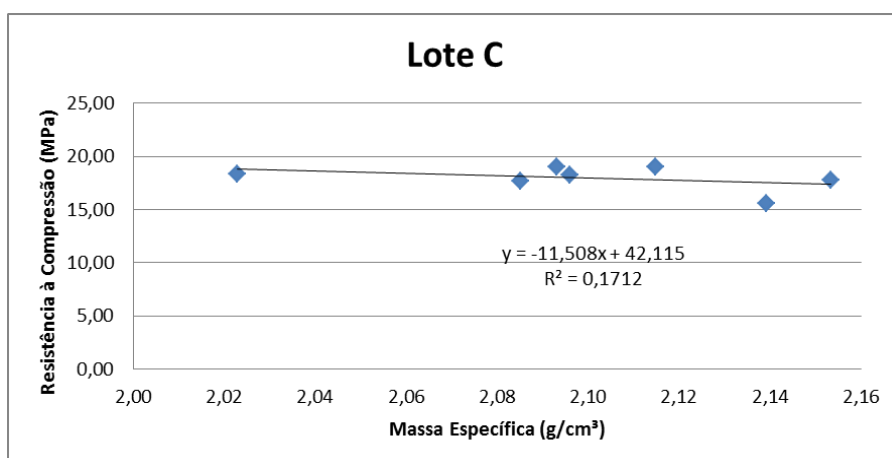


Gráfico 14 – Relação entre resistência à compressão e a massa específica aparente das peças do lote C
Fonte: Autoria própria.

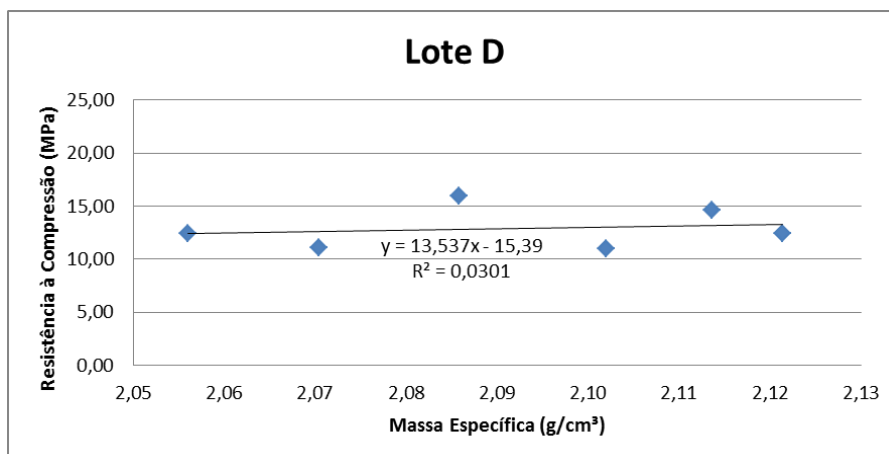


Gráfico 15 – Relação entre resistência à compressão e a massa específica aparente das peças do lote D
 Fonte: Autoria própria.

Como ilustra os Gráficos 12, 13, 14 e 15, apenas os lotes A e B possuíram certa relação direta entre a resistência à compressão e a massa específica. No entanto, não foi possível afirmar com certeza, pois as linhas de tendência dos gráficos não proveram resultados com níveis de confiabilidade elevados, como mostra o R-quadrado das linhas em cada gráfico, que ficou distante de 1. Ainda, foi necessária a exclusão dos dados de algumas peças para a manutenção de um coeficiente de variação próximo a 10%.

4.1.7.2 Absorção de Água Total x Resistência à Compressão

Segundo o item 2.3.4, talvez seja possível correlacionar as propriedades de absorção e resistência à compressão de maneira inversamente proporcional, ou seja, quanto maior a absorção das peças menor a resistência à compressão. Dessa forma, o Gráfico 16 mostra a relação dessas propriedades entre os lotes.

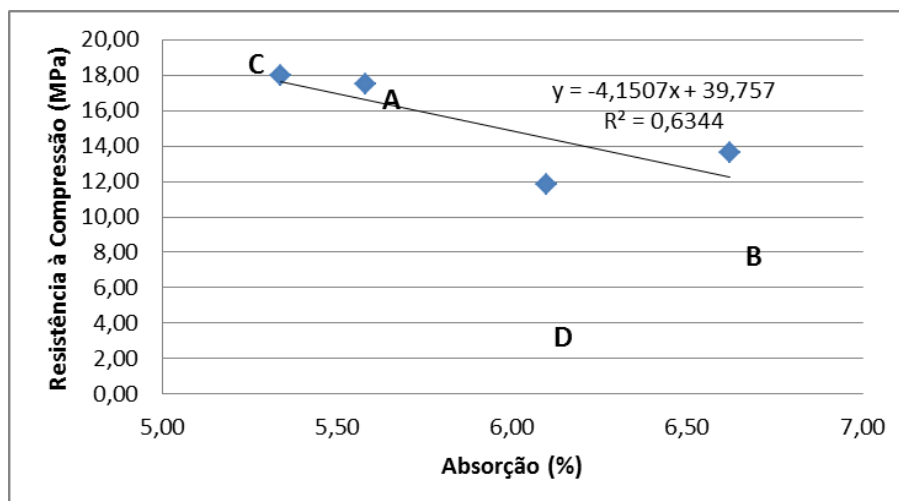


Gráfico 16 – Relação entre a resistência à compressão e a absorção de água total obtida entre os quatro lotes
Fonte: Autoria própria.

Conforme o Gráfico 16 é possível verificar que os lotes A e C possuem maior resistência à compressão e menor absorção de água conforme esperado. Porém, nos lotes D e B os valores foram inversos, à medida que o lote B possui maior resistência à compressão e absorção do que o lote D. Isso pode ter ocorrido devido à variação encontrada nas peças, principalmente com relação à resistência à compressão do lote D.

4.1.7.3 Resistência à Tração x Resistência à Compressão

Segundo o item 2.3.3, existe uma possível correlação entre as propriedades de resistência à tração e resistência à compressão de maneira proporcional, numa relação entre 10 a 20% do valor da resistência à compressão. Assim, a Tabela 2 apresenta essa relação de cada um dos lotes.

Resistências Médias	A	B	C	D
Compressão (MPa)	17,49	13,65	17,94	11,83
Tração (MPa)	1,89	1,51	2,66	2,12
(Tração/Compressão)	11%	11%	15%	18%

Tabela 2 - Relação entre a resistência à tração e resistência à compressão dos quatro lotes analisados
Fonte: Autoria própria.

De acordo com a Tabela 2, os dados mantiveram-se dentro de uma variação entre 11 a 18%, já esperado de acordo com a literatura.

4.2 DISCUSSÃO GERAL

Por meio dos resultados obtidos observou-se que a geometria de todos os lotes estava de acordo com a norma. Além disso, foi possível verificar a massa específica das peças e obter valores conforme a literatura. Para a resistência à compressão, analisou-se que nenhum lote atingiu 35 MPa. Já os valores de resistência à tração ficaram na média de 2,05 MPa, absorção de água total na média de 5,91% e IRA na média de 0,0011 g/193,55cm³.

Não foi possível determinar correlação direta entre a resistência à compressão e a massa específica para todos os lotes, verificando apenas nos lotes A e B. No caso da relação inversamente proporcional entre resistência à compressão e absorção não foi possível afirmar para todos os lotes, mantendo essa relação apenas entre os lotes A e B. Também, conclui-se que existe uma relação proporcional entre as resistências à compressão e à tração, conforme literatura e verificada em todos os lotes.

Ainda, observou-se pouca uniformização entre as peças de todos os quatro lotes, verificada por meio dos altos coeficientes de variação obtidos em cada análise.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1 CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos foi observado que a geometria das peças de concreto dos quatro lotes estava de acordo com a norma. Além disso, foi possível também determinar a massa específica das peças e obtiveram-se valores conforme a literatura e em média de $2,11 \text{ g/cm}^3$. Com relação à resistência à compressão, conclui-se que todos os lotes estão abaixo da resistência exigida em norma de 35 MPa, e inclusive não atingindo nem 20 MPa. Ainda, valores de resistência à tração ficaram na média de 2,05 MPa, absorção de água total na média de 5,91% e IRA na média de $0,0011 \text{ g/193,55cm}^3$.

Não foi observada correlação direta entre a resistência à compressão e a massa específica para todos os lotes, sendo encontrada apenas nos lotes A e B. No caso da relação inversamente proporcional entre resistência à compressão e absorção não foi possível afirmar para todos os lotes, também sendo encontrada apenas nos lotes A e B. Também, conclui-se que existe uma relação proporcional entre as resistências à compressão e à tração, verificada em todos os lotes.

5.2 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

Sugere-se para trabalhos futuros uma análise de mercado dos fabricantes desse produto na região metropolitana de Curitiba comparando aqueles que possuem certificação da ABCP com aqueles fabricantes que não a possuem. Além disso, sugere-se a análise comparativa das propriedades de resistência à compressão e de durabilidade de peças de concreto para pavimentação.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211**: Agregados para concreto. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR 9780**: Peças de concreto para pavimentação – Determinação da resistência à compressão – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1987.

_____. **NBR 9781**: Peças de concreto para pavimentação – Especificação. Rio de Janeiro, 1987.

_____. **NBR 11768**: Aditivos para concreto de cimento Portland – Especificações. Rio de Janeiro, 1987.

CRUZ, L. O. M. **Pavimento intertravado de concreto: estudo dos elementos e métodos de dimensionamento**. 2003. 281f. Tese (Mestrado em Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil) – UFRJ.

FERREIRA JR, S. **Peças de concreto para pavimentação**. 25ª Reunião Anual de Pavimentação – São Paulo, 1991.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo. Editora Pini, 1994.

OLIVEIRA, A. L. de. **Contribuição para a dosagem e produção de peças de concreto para pavimentação**. 2004. 296f. Tese (Doutorado em Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil) – UFSC.

PETRUCCI, E. G. R.. **Concreto de cimento Portland**. 8ª ed.. Porto Alegre – Rio de Janeiro: Globo, 1981.

PRUDÊNCIO JR, L. R. **Materiais de construção civil I**. Apostila. 2007 – UFSC.

RODRIGUES, P. P. F. **Recomendações para a fabricação de peças pré-moldadas de concreto para pavimentação**. In: Reunião Anual, São Paulo: IBRACON, 27 a 31 agosto, 1984.

SHACKEL, B. **Design and construction of interlocking concrete block pavements**. London: Elsevier Applied Science, 1990.

APÊNDICE A – Planilha de Resultados



AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES DE PEÇAS DE CONCRETO PARA PAVIMENTAÇÃO UTILIZADAS NAS VIAS DE PASSEIO DAS OBRAS DO ANEL VIÁRIO DE CURITIBA

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ - UTFPR
DISCIPLINA: TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
ALUNO: YAN GORSKI DE CAMPOS MALTA
ORIENTADORA: PROF^a DR^a JULIANA MACHADO CASALI

DATA: 08/06/2013

LOTE: A

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO:			*Fator de correção=0,95							
Nº Peças	Massa (g)	Altura (cm)	Força (N)	Tensão (MPa)	d (g/cm³)	Massa Saturada (g)	Massa Imersa (g)	Volume (cm³)	Comp. (cm)	Larg. (cm)
C1	2.497,80	6,0	126.504,44	18,89	2,09	2.563,20	1.373,80	1.189,40	20,2	10,2
C2	2.528,00	6,0	99.884,09	14,92	2,12	2.578,20	1.398,10	1.180,10	20,1	10,1
C3	2.665,40	6,2	130.410,63	19,47	2,23	2.715,20	1.498,50	1.216,70	20,1	10,1
C4	2.555,70	6,0	107.616,13	16,07	2,14	2.631,40	1.443,80	1.187,60	20,1	10,1
C5	2.622,00	6,1	150.584,27	22,49	2,19	2.669,40	1.475,20	1.194,20	20,1	10,1
C6	2.583,80	6,1	92.282,57	13,78	2,16	2.652,70	1.449,00	1.203,70	20,1	10,1
C7	2.555,10	6,0	118.300,43	17,67	2,14	2.592,60	1.403,70	1.188,90	20,1	10,1
C8	2.566,30	6,1	120.107,92	17,94	2,15	2.625,50	1.424,40	1.201,10	20,1	10,1

RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL:						
Nº Peças	Massa (g)	Altura (cm)	Força (N)	Tensão (MPa)	Comp. (cm)	Larg. (cm)
T1	2.537,80	5,9	11.407,29	1,92	20,1	10,1
T2	2.576,60	6,0	11.678,41	1,93	20,1	10,1
T3	2.551,70	6,0	11.206,46	1,84	20,2	10,1
T4	2.587,80	6,0	16.146,94	2,68	20,1	10,1
T5	2.606,20	6,2	14.680,86	2,32	20,2	10,2
T6	2.497,90	5,9	5.432,52	0,91	20,1	10,1

ABSORÇÃO DE ÁGUA - TOTAL:							
Nº Peças	Massa Inicial (g)	Massa Saturada (g)	Massa Seca (g)	Altura (cm)	Comp. (cm)	Larg. (cm)	Absorção (%)
A1	2.600,70	2.651,10	2.512,30	6,2	20,1	10,1	5,24
A2	2.497,80	2.570,20	2.411,30	6,0	20,0	10,1	6,18
A3	2.636,30	2.686,80	2.543,70	6,2	20,1	10,1	5,33

ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE - IRA:					
Nº Peças	Massa Inicial (g)	Massa Seca (g)	Altura (cm)	Comp. (cm)	Larg. (cm)
I1	2.502,20	2.429,60	6,0	20,1	10,1
I2	2.586,30	2.513,60	6,1	20,1	10,1
I3	2.551,20	2.481,30	6,1	20,0	10,1
Nº Peças	Massa (g) 1 min	Massa (g) 5 min	Massa (g) 15 min	Massa (g) 30 min	Área Contato (cm²)
I1	2.514,50	2.531,20	2.546,20	2.557,50	202,41
I2	2.560,50	2.579,90	2.584,80	2.589,70	202,71
I3	2.537,10	2.556,30	2.564,50	2.573,90	201,30
Nº Peças	Absorção (g/cm²)	Absorção (g/cm²)	Absorção (g/cm²)	Absorção (g/cm²)	IRA 1 min (g/193,55cm²)
I1	0,42	0,50	0,58	0,63	0,002167150
I2	0,23	0,33	0,35	0,38	0,001195381
I3	0,28	0,37	0,41	0,46	0,001432175

APÊNDICE A – Planilha de Resultados



AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES DE PEÇAS DE CONCRETO PARA PAVIMENTAÇÃO UTILIZADAS NAS VIAS DE PASSEIO DAS OBRAS DO ANEL VIÁRIO DE CURITIBA

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ - UTFPR

DATA: 08/06/2013

DISCIPLINA: TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

ALUNO: YAN GORSKI DE CAMPOS MALTA

ORIENTADORA: PROF^a DR^a JULIANA MACHADO CASALI

LOTE: B

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO:

*Fator de correção=0,95

Nº Peças	Massa (g)	Altura (cm)	Força (N)	Tensão (MPa)	d (g/cm³)	Massa Saturada (g)	Massa lmersa (g)	Volume (cm³)	Comp. (cm)	Larg. (cm)
C1	2.478,80	6,1	88.426,59	13,20	2,08	2.529,10	1.341,70	1.187,40	20,1	10,1
C2	2.427,40	6,0	82.401,61	12,31	2,03	2.476,30	1.290,40	1.185,90	20,2	10,2
C3	2.528,40	6,2	90.294,33	13,48	2,12	2.571,70	1.378,90	1.192,80	20,1	10,1
C4	2.449,00	6,1	84.349,68	12,60	2,05	2.513,00	1.350,30	1.162,70	20,0	10,1
C5	2.426,50	5,9	69.186,82	10,33	2,03	2.469,40	1.308,30	1.161,10	20,1	10,1
C6	2.555,20	6,1	123.632,53	18,46	2,14	2.589,50	1.372,10	1.217,40	20,2	10,2
C7	2.549,20	6,1	103.107,45	15,40	2,13	2.610,50	1.406,20	1.204,30	20,1	10,1
C8	2.544,60	6,2	99.994,54	14,93	2,13	2.627,30	1.385,00	1.242,30	20,2	10,2

RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL:

Nº Peças	Massa (g)	Altura (cm)	Força (N)	Tensão (MPa)	Comp. (cm)	Larg. (cm)
T1	2.511,80	6,0	8.906,92	1,47	20,2	10,1
T2	2.618,80	6,2	13.646,57	2,15	20,3	10,2
T3	2.554,80	6,1	9.429,09	1,52	20,2	10,1
T4	2.363,10	6,0	8.445,01	1,38	20,1	10,2
T5	2.547,60	6,2	8.987,26	1,42	20,2	10,2
T6	2.567,60	6,2	10.935,33	1,73	20,1	10,1

ABSORÇÃO DE ÁGUA - TOTAL:

Nº Peças	Massa Inicial (g)	Massa Saturada (g)	Massa Seca (g)	Altura (cm)	Comp. (cm)	Larg. (cm)	Absorção (%)
A1	2.503,90	2.574,30	2.401,90	6,0	20,2	10,2	6,70
A2	2.393,80	2.467,20	2.293,90	5,9	20,1	10,1	7,02
A3	2.606,00	2.659,50	2.496,10	6,2	20,1	10,2	6,14

ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE - IRA:

Nº Peças	Massa Inicial (g)	Massa Seca (g)	Altura (cm)	Comp. (cm)	Larg. (cm)
I1	2.482,20	2.410,90	5,9	20,2	10,1
I2	2.459,60	2.386,20	6,0	20,1	10,1
I3	2.458,10	2.375,20	5,8	20,1	10,1
Nº Peças	Massa (g) 1 min	Massa (g) 5 min	Massa (g) 15 min	Massa (g) 30 min	Área Contato (cm²)
I1	2.446,20	2.458,90	2.470,70	2.478,50	203,01
I2	2.426,80	2.445,40	2.454,30	2.471,10	202,71
I3	2.417,60	2.436,80	2.446,50	2.461,30	203,11
Nº Peças	Absorção (g/cm²)	Absorção (g/cm²)	Absorção (g/cm²)	Absorção (g/cm²)	IRA 1 min (g/193,55cm²)
I1	0,17	0,24	0,29	0,33	0,000898383
I2	0,20	0,29	0,34	0,42	0,001034813
I3	0,21	0,30	0,35	0,42	0,001078544

APÊNDICE A – Planilha de Resultados



AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES DE PEÇAS DE CONCRETO PARA PAVIMENTAÇÃO UTILIZADAS NAS VIAS DE PASSEIO DAS OBRAS DO ANEL VIÁRIO DE CURITIBA

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ - UTFPR
DISCIPLINA: TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
ALUNO: YAN GORSKI DE CAMPOS MALTA
ORIENTADORA: PROF^a DR^a JULIANA MACHADO CASALI

DATA: 26/07/2013

LOTE: C

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO:

*Fator de correção=0,95

Nº Peças	Massa (g)	Altura (cm)	Força (N)	Tensão (MPa)	d (g/cm ³)	Massa Saturada (g)	Massa Imersa (g)	Volume (cm ³)	Comp. (cm)	Larg. (cm)
C1	2.494,00	6,3	49.786,39	7,43	2,02	2.672,30	1.416,60	1.255,70	20,1	10,1
C2	2.585,80	6,1	127.578,89	19,05	2,09	2.689,10	1.462,80	1.226,30	20,2	10,2
C3	2.499,10	5,9	122.939,66	18,36	2,02	2.580,20	1.397,20	1.183,00	20,2	10,1
C4	2.589,40	6,2	121.925,46	18,21	2,10	2.688,10	1.462,50	1.225,60	20,0	10,1
C5	2.612,90	6,1	127.167,19	18,99	2,11	2.678,40	1.446,10	1.232,30	20,2	10,2
C6	2.660,30	6,3	118.923,01	17,76	2,15	2.744,30	1.468,70	1.275,60	20,1	10,2
C7	2.576,10	6,2	118.330,55	17,67	2,09	2.671,30	1.443,40	1.227,90	20,0	10,0
C8	2.642,90	6,2	104.151,77	15,55	2,14	2.730,80	1.473,70	1.257,10	20,3	10,2

RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL:

Nº Peças	Massa (g)	Altura (cm)	Força (N)	Tensão (MPa)	Comp. (cm)	Larg. (cm)
T1	2.607,20	6,2	14.811,40	2,36	20,1	10,1
T2	2.488,50	6,2	7.009,06	1,14	20,1	10,0
T3	2.548,30	6,2	7.039,18	1,13	20,0	10,0
T4	2.626,20	6,2	16.548,60	2,65	20,0	10,0
T5	2.628,90	6,1	17.904,22	2,89	20,2	10,1
T6	2.526,80	6,1	16.628,94	2,74	20,0	10,0

ABSORÇÃO DE ÁGUA - TOTAL:

Nº Peças	Massa Inicial (g)	Massa Saturada (g)	Massa Seca (g)	Altura (cm)	Comp. (cm)	Larg. (cm)	Absorção (%)
A1	2.642,50	2.737,00	2.582,60	6,2	20,3	10,2	5,64
A2	2.482,30	2.568,80	2.426,20	6,1	20,2	10,2	5,55
A3	2.624,10	2.692,60	2.562,80	6,3	20,1	10,2	4,82

ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE - IRA:

Nº Peças	Massa Inicial (g)	Massa Seca (g)	Altura (cm)	Comp. (cm)	Larg. (cm)
I1	2.642,20	2.572,20	6,2	20,2	10,2
I2	2.608,80	2.544,70	6,1	20,1	10,2
I3	2.656,40	2.584,50	6,3	20,1	10,2
Nº Peças	Massa (g) 1 min	Massa (g) 5 min	Massa (g) 15 min	Massa (g) 30 min	Área Contato (cm ²)
I1	2.606,60	2.621,70	2.632,50	2.644,70	206,04
I2	2.581,00	2.595,50	2.608,60	2.617,20	204,52
I3	2.622,20	2.637,40	2.650,20	2.659,60	204,42
Nº Peças	Absorção (g/cm ²)	Absorção (g/cm ²)	Absorção (g/cm ²)	Absorção (g/cm ²)	IRA 1 min (g/193,55cm ²)
I1	0,17	0,24	0,29	0,35	0,000862595
I2	0,18	0,25	0,31	0,35	0,000917035
I3	0,18	0,26	0,32	0,37	0,000952846

APÊNDICE A – Planilha de Resultados



AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES DE PEÇAS DE CONCRETO PARA PAVIMENTAÇÃO UTILIZADAS NAS VIAS DE PASSEIO DAS OBRAS DO ANEL VIÁRIO DE CURITIBA

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ - UTFPR
DISCIPLINA: TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
ALUNO: YAN GORSKI DE CAMPOS MALTA
ORIENTADORA: PROFª DRª JULIANA MACHADO CASALI

DATA: 26/07/2013

LOTE: ___ D ___

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO:			*Fator de correção=0,95								
Nº Peças	Massa (g)	Altura (cm)	Força (N)	Tensão (MPa)	d (g/cm³)	Massa Saturada (g)	Massa lmersa (g)	Volume (cm³)	Comp. (cm)	Larg. (cm)	
C1	2.580,80	6,3	74.277,93	11,09	2,07	2.711,70	1.451,00	1.260,70	20,0	10,0	
C2	2.634,70	6,3	97.956,09	14,63	2,11	2.748,40	1.486,00	1.262,40	20,2	10,0	
C3	2.620,20	6,3	73.725,64	11,01	2,10	2.725,60	1.461,40	1.264,20	20,1	10,0	
C4	2.562,90	6,1	82.973,98	12,39	2,06	2.657,70	1.431,70	1.226,00	20,1	10,1	
C5	2.644,40	6,3	83.385,69	12,45	2,12	2.733,00	1.474,50	1.258,50	20,1	10,1	
C6	2.600,00	6,2	106.903,18	15,96	2,09	2.696,10	1.465,40	1.230,70	20,0	10,0	
C7	2.549,30	6,0	106.250,48	15,87	2,05	2.625,20	1.420,90	1.204,30	20,0	10,1	
C8	2.666,50	6,3	81.598,27	12,19	2,14	2.749,10	1.483,60	1.265,50	20,1	10,0	

RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL:						
Nº Peças	Massa (g)	Altura (cm)	Força (N)	Tensão (MPa)	Comp. (cm)	Larg. (cm)
T1	2.605,00	6,3	11.347,04	1,80	20,1	10,0
T2	2.609,30	6,1	14.319,36	2,31	20,1	10,1
T3	2.633,50	6,1	13.927,74	2,25	20,1	10,1
T4	2.604,80	6,2	13.827,32	2,20	20,0	10,1
T5	2.495,10	6,0	12.130,29	2,01	20,0	10,0
T6	2.637,10	6,3	13.656,62	2,17	20,2	10,0

ABSORÇÃO DE ÁGUA - TOTAL:							
Nº Peças	Massa Inicial (g)	Massa Saturada (g)	Massa Seca (g)	Altura (cm)	Comp. (cm)	Larg. (cm)	Absorção (%)
A1	2.637,00	2.736,40	2.567,20	6,3	20,1	10,0	6,18
A2	2.551,10	2.642,70	2.485,70	6,2	20,0	10,0	5,94
A3	2.575,50	2.673,00	2.508,10	6,2	20,0	10,1	6,17

ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE - IRA:					
Nº Peças	Massa Inicial (g)	Massa Seca (g)	Altura (cm)	Comp. (cm)	Larg. (cm)
I1	2.614,70	2.512,80	6,2	20,1	10,1
I2	2.632,80	2.550,30	6,3	20,2	10,1
I3	2.587,30	2.520,40	6,2	20,0	10,1
Nº Peças	Massa (g) 1 min	Massa (g) 5 min	Massa (g) 15 min	Massa (g) 30 min	Área Contato (cm²)
I1	2.557,80	2.568,60	2.579,20	2.589,30	202,00
I2	2.581,00	2.594,60	2.604,10	2.613,40	203,31
I3	2.568,80	2.581,00	2.591,40	2.600,10	201,90
Nº Peças	Absorção (g/cm²)	Absorção (g/cm²)	Absorção (g/cm²)	Absorção (g/cm²)	IRA 1 min (g/193,55cm²)
I1	0,22	0,28	0,33	0,38	0,001150953
I2	0,15	0,22	0,26	0,31	0,000780152
I3	0,24	0,30	0,35	0,39	0,001238551