

## **Estudo de traço para peças pré-moldadas de concreto para pavimentos intertravados**

*Trace study for precast concrete parts for interlocking pavements*

*Estudio de traza para piezas prefabricadas de hormigón para pavimentos enclavados*

**Charles Miguel Schvaickardt**

charles\_schvaickardt@hotmail.com

**João Rodrigo Guerreiro Mattos**

Doutor em Engenharia Civil.

Professor na Universidade do Vale do Taquari – UNIVATES/RS/BRA.

E-mail: joao.mattos@univates.br



## RESUMO

O presente estudo visa desenvolver um estudo técnico de traço, promovendo ensaios para determinação das características e propriedades dos agregados, tais como, análise da composição granulométrica, massa unitária de material no estado solto e teor de umidade total. Aplicar dosagens de traços testes, variando a adição de água e diferentes quantidades e proporções de agregados miúdos e graúdos, procurando conhecer suas influências. Outro parâmetro a ser analisado se deve à influência do tipo de cimento no traço. Para verificação destas atribuições, submeter os blocos à ensaios de inspeção visual, avaliação dimensional, absorção de água e resistência característica à compressão. Relatar o estudo dos traços, justificando a fundamental importância da realização do controle tecnológico da confecção das peças, para conseguir um produto final de melhor qualidade. Realizar um comparativo da eficiência no custo-benefício dos blocos confeccionados no estudo, com os blocos fabricados atualmente na fábrica municipal. Apresentar o desempenho gerado pelos traços propostos, verificando a influência dos parâmetros de materiais, vibro-prensa e dosagem. Propor uma dosagem tecnicamente mais adequada a ser utilizado na fábrica municipal para produção de peças para pavimentação, que atenda às exigências normativas da ABNT NBR 9781 (2013), e sendo apropriado para utilização em ruas do Município.

**Palavras-Chave:** Pavimento, Blocos Intertravados, Traço de Concreto.

## ABSTRACT

*The present study aims to develop a technical study of trace, promoting tests to determine the characteristics and properties of the aggregates, such as analysis of the granulometric composition, unit mass of material in the loose state and total moisture content. Apply dosages of test traits, varying the addition of water and different amounts and proportions of small and large aggregates, trying to know their influences. Another parameter to be analyzed is due to the influence of the type of cement in the trace. To verify these assignments, submit the blocks to the tests of visual inspection, dimensional evaluation, water absorption and characteristic resistance to compression. To report the study of the traits, justifying the fundamental importance of performing the technological control of the garment manufacturing, to achieve a better quality final product. Carry out a comparison of the cost-effectiveness of the blocks made in the study, with the blocks currently manufactured in the municipal factory. To present the performance generated by the proposed traits, verifying the influence of material parameters, vibro-press and dosage. Propose a technically more adequate dosage to be used in the municipal plant for the production of paving parts, which meets the normative requirements of ABNT NBR 9781 (2013), and is suitable for use in streets of the Municipality.*

**Keywords:** Pavement, Interlocking Blocks, Concrete Trace.

## RESUMEN

*El presente estudio pretende desarrollar un estudio técnico de rasgo, promoviendo ensayos para determinar las características y propiedades de los agregados, tales como, análisis de la composición granulométrica, masa unitaria de material en el estado suelto y contenido de humedad total. Aplicar dosificaciones de trazas pruebas, variando la adición de agua y diferentes cantidades y proporciones de agregados a niños y niños, buscando conocer sus influencias. Otro parámetro a ser analizado se debe a la influencia del tipo de cemento en el trazado. Para verificar estas atribuciones, someter los bloques a los ensayos de inspección visual, evaluación dimensional, absorción de agua y resistencia característica a la compresión. • Informar el estudio de los rasgos, justificando la fundamental importancia de la realización del control tecnológico de la confección de las piezas, para conseguir un producto final de mejor calidad. Realizar un comparativo de la eficiencia en el costo-beneficio de los bloques confeccionados en el estudio, con los bloques fabricados actualmente en la fábrica municipal. Presentar el rendimiento generado por los trazos propuestos, verificando la influencia de los parámetros de materiales, vibro-prensa y dosificación. Proponer una dosificación técnicamente más adecuada a ser utilizada en la fábrica municipal para producción de piezas para pavimentación, que atienda a las exigencias normativas de la ABNT NBR 9781 (2013), y siendo apropiado para uso en calles del Municipio.*

**Palabras clave:** Pavimento, Bloques Interbloqueados, Traza de Concreto.

## 1 INTRODUÇÃO

A constante e crescente ampliação de ruas com pavimentação nos municípios requer qualidade dos seus componentes. Visto os elevados investimentos públicos necessários para a manutenção das ruas, urge alcançar um melhor desempenho e, conseqüentemente, maior durabilidade desses pavimentos. Sabendo que o controle técnico dos materiais influencia na resistência à compressão dos blocos e na aparência estética deles, então, faz-se necessário um estudo das condições dos componentes empregados no pavimento, visando garantir o uso de materiais de boa qualidade na dosagem.

Por ser um serviço muito executado, não é raro que as prefeituras municipais possuam fábricas para confecção própria das peças pré-moldadas de concreto. Entretanto, percebe-se que falta controle na produção, o que impacta na qualidade final dos produtos confeccionados. Dessa forma, o presente estudo tem como objetivo realizar a dosagem de um traço para peças pré-moldadas de concreto para pavimentos intertravados que atenda as especificações da NBR 9781 (ABNT, 2013).

## 2 PRODUÇÃO DE BLOCOS DE CONCRETO PARA PAVIMENTO

Para Souza (2013), a fabricação de blocos pré-moldados de concreto está sujeita a variações na qualidade, sendo influenciado pelos equipamentos, materiais e a dosagem. Hood (2006) destaca que o sucesso na produção das peças de concreto tem relação com o conhecimento dos materiais a serem utilizados, das propriedades exigidas e do processo de fabricação.

Os equipamentos para a produção das peças possuem diferentes particularidades na aplicação de energia de compactação, influenciando na resistência a compressão final do bloco. Destaca-se a importância em adquirir equipamentos com ótimo desempenho, resultando na produção de peças de qualidade. Os benefícios da produção em escala com o uso das vibro-prensas apontam para o controle de homogeneidade das resistências mecânicas, textura e dimensões que podem ser exercidos durante a fabricação dos produtos (FIORITI, 2007).

A NBR 9781 (ABNT, 2013) menciona o emprego de agregados de procedência natural, industrial ou reciclado, com o critério de atender as especificações da norma de agregados para concreto. Conforme Fioriti (2007), a granulometria do agregado altera a qualidade final das peças, modificando a sua textura e sua resistência à compressão. Cruz (2003) destaca a importância da escolha da proporção de agregados finos e graúdos, a fim de obter a menor quantidade de vazios. A mistura ideal será com a menor presença de porosidade, proporcionando a menor adição de aglomerante na dosagem, obtendo melhores resistências à compressão.

### 2.1 Dosagem do concreto

Para Fioriti (2007), a dosagem de concreto para fabricação de peças pré-moldadas produzidas por vibro-prensas requer um produto de consistência seca, de modo a obter uma coesão sem prejuízo do formato, mantendo-se íntegro. A coesão da mistura depende da adequada quantidade de finos, aliado a vibração e prensagem. Para obter peças mais compactas e mais resistentes, deve acrescentar o máximo de volume de

água, porém, sem afetar o formato após desmoldado. Segundo Cruz (2003), as peças devem apresentar uma resistência capaz de manter seu formato intacto na fabricação, no assentamento e aos efeitos do tráfego de veículos.

De acordo com Rodrigues (*apud* Fioriti, 2007), a dosagem do concreto pode ser obtida pelo método do menor volume de vazios, que consiste em determinar a massa de cada agregado, realizando a comparação com a massa de mistura do agregado e areia preenchidos em um recipiente de volume padronizado. Os materiais secos devem ser divididos em diferentes proporções de teste e misturados. Utilizar um recipiente cilíndrico de diâmetro de 15 cm e altura de 17 cm, com capacidade de 3 litros, depositando-se uma das misturas em 3 camadas. Compactar cada camada com 25 golpes de uma haste de 16 mm de diâmetro e comprimento de 60 cm. A compactação da camada superior nunca deve atingir a camada inferior já compactada. Deve prosseguir com o nivelamento da superfície, retirando o material excedente e realizando a pesagem em uma balança. Com os resultados alcançados, é possível a determinação da proporção ideal de pedrisco e areia por meio de uma curva gráfica.

## **2.2 Aceitação dos blocos de concreto**

A NBR 9781 (ABNT, 2013), que rege as especificações e métodos de ensaio para as peças de concreto para pavimentação, estabelece alguns requisitos para aceitação dos blocos. Para aprovação de um lote, não devem ser constatadas mais de 5% de peças defeituosas, competindo ao consumidor optar pela troca das peças defeituosas, desde que as mesmas atendam os requisitos das dimensões e tolerâncias, resistência característica estimada a compressão e a absorção de água.

Para Cruz (2003), a variação das dimensões das peças prejudica o correto funcionamento do pavimento, ocasionando o desencontro das juntas. A diferença no tamanho compromete o modelo de assentamento desejado, conseqüentemente, afeta na produtividade de execução do pavimento. A Tabela 1 destaca as tolerâncias nas dimensões, os limites de absorção de água, a resistência característica à compressão e abrasão mínima das peças de concreto.

Tabela 1 – Tolerâncias dimensionais, absorção de água, resistência característica à compressão e abrasão das peças de concreto

Dimensões		Tolerâncias
Comprimento	≥ 97 mm	± 3 mm
Largura	≤ 250 mm	± 3 mm
Espessura	≥ 60 mm <sup>1</sup>	± 3 mm
Absorção de água	Média	Individual
	≤ 6 %	≤ 7 %
Solicitação	Resistência característica à compressão ( $f_{pk}$ ) aos 28 dias <sup>2</sup>	Resistência à abrasão <sup>3</sup> Cavidade máxima
Tráfego de pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linha.	≥ 35 MPa	≤ 23 mm
Tráfego de veículos especiais e solicitações capazes de produzir efeitos de abrasão acentuados.	≥ 50 MPa	≤ 20 mm

<sup>1</sup> Deve apresentar múltiplos de 20 mm;

<sup>2</sup> Lote inferior a 28 dias deve apresentar resistência característica à compressão mínima de 80%;

<sup>3</sup> Ensaio facultativo.

Fonte: Adaptado pelo Autor da ABNT NBR 9781 (2013).

### 3 ESTUDO EXPERIMENTAL DE TRAÇO DE CONCRETO PARA PEÇAS

O estudo elaborado foi executado numa fábrica de produção de peças pré-moldadas de concreto para pavimentação, situada juntamente à Secretaria de Obras de um município no Rio Grande do Sul, sendo destinada à pavimentação de ruas vinculadas ao programa de Adesão a Parceria entre a Prefeitura Municipal e proprietários de imóveis. Este sistema é regido por Lei, que consiste em um plano básico de pavimentação para beneficiar moradores do município. Os materiais para fabricação dos blocos, meio-fio e tubulações são custeados pelos moradores e a mão de obra para fabricação e execução é concedida pelo órgão público.

A fábrica de blocos teve sua implantação na década de 1980. Em 1993, foi adquirida a vibro-prensa utilizada até hoje. Trata-se de um equipamento para moldagem dos blocos, da empresa Vibramaq, modelo PPB 60 AVP 4B. O equipamento é uma prensa pneumática, semiautomática, acionada manualmente por 3 válvulas tipo "pedal". A fabricação das peças é realizada com espessuras de 8 cm em virtude do emprego em ruas de pequenas circulações de veículos, ou seja, baixo e médio tráfego. A Figura 1 demonstra os blocos em período de cura do concreto, produzidos na Secretaria Municipal.



Figura 1 – Blocos de concreto intertravado produzidos na fábrica



Fonte: do Autor (2017).

A produção de blocos de concreto é dosada em volume, traço definido no período de implantação da fábrica. O traço é composto por cimento Portland CP IV – 32, agregado miúdo e graúdo, ou seja, areia grossa e brita 0. A água é adicionada sem qualquer controle na produção dos blocos, sendo verificada visualmente pelo operador da misturadora. A Tabela 2 apresenta o traço utilizado, identificado como “P”, com referência à Prefeitura Municipal.

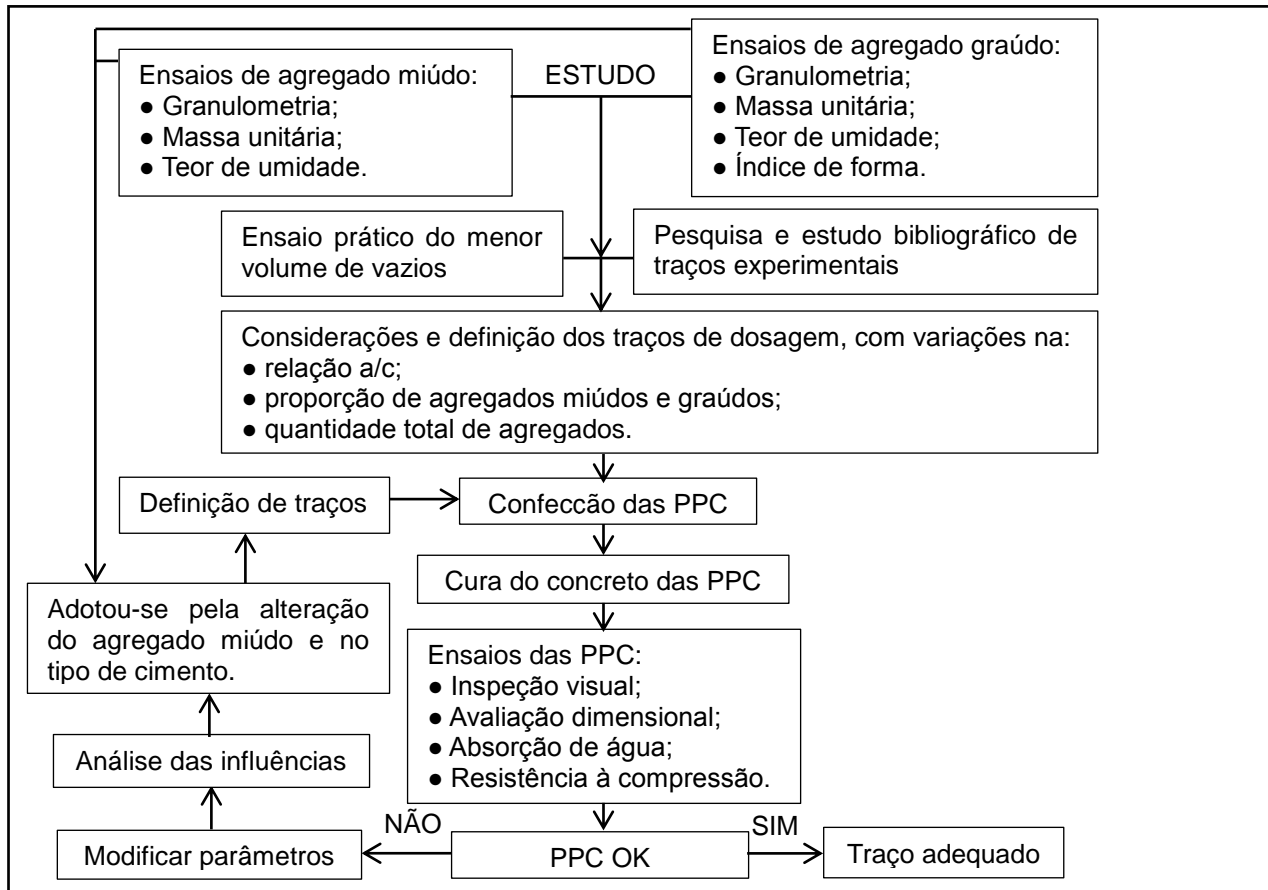
Tabela 2 – Traço em volume utilizado na fabricação dos blocos de concreto

Identificação	Unidade	Cimento	Areia	Pedrisco	Total de agregados	Água
Traço em volume	m <sup>3</sup>	1	3,50	2,50	6,00	Visual
Massa unitária	kg/m <sup>3</sup>	1388,89	1738,44	1495,11	-	
Teor de umidade total	%	-	3,13	1,65	-	
Massa unitária natural	kg/m <sup>3</sup>	-	1792,86	1519,78	-	
Traço em massa	Kg	1	4,52	2,74	7,25	

Fonte: Elaborado pelo Autor (2017).

Considerando os componentes e equipamentos utilizados na dosagem e fabricação dos blocos, a realização desde estudo utilizará os mesmos materiais e procedimentos. Serão realizados ensaios para conhecer as características e propriedades dos materiais utilizados no concreto. As peças confeccionadas no estudo serão analisadas em suas condições geométricas, resistência à compressão, absorção de água e aspecto visual dos blocos de concreto, conforme critérios da ABNT NBR 9781 (2013). Objetiva-se promover um melhor desempenho para as peças pré-moldadas de concreto, visando uma melhor relação custo-benefício atendendo os critérios estabelecidos pelas Normas Regulamentadoras. O fluxograma do estudo pode ser exemplificado na Figura 2.

Figura 2 – Fluxograma do estudo



Fonte: Elaborado pelo Autor (2017).

### 3.1 Materiais utilizados na dosagem do traço

Considerando a fabricação das peças pré-moldadas de concreto, serão utilizados os cimentos Portland Pozolânico CP IV - 32 e CP V - ARI, do Grupo Votorantim Cimentos, para a fabricação dos blocos para ensaios. O agregado miúdo utilizado na fabricação dos blocos tem procedência da extração do Rio Jacuí, no município de Rio Pardo/RS. Os agregados graúdos proveem do processo de beneficiamento do material extraído do Vale do Rio Pardo/RS. A Figura 3 ilustra os agregados empregados no concreto.

Figura 3 – Aspecto visual dos agregados miúdos e graúdos



Fonte: do Autor (2017).

Analisando a Figura 3, verifica-se que os agregados graúdos são caracterizados por apresentarem grãos na forma lamelar. A lamelaridade do agregado é prejudicial ao concreto, visto que a resistência é afetada devido à fragilidade dos grãos, ao favorecimento da formação de bolhas, originando a presença de vazios, e ainda, a necessidade de maior quantidade de cimento para compensar a resistência perdida.

### 3.2 Caracterização dos agregados

Inicialmente, buscou-se conhecer a qualidade dos agregados empregados atualmente na produção de blocos. Os agregados foram submetidos a ensaios para determinação das suas características físicas. Os resultados estão na Tabela 3.

Tabela 3 – Características físicas dos agregados

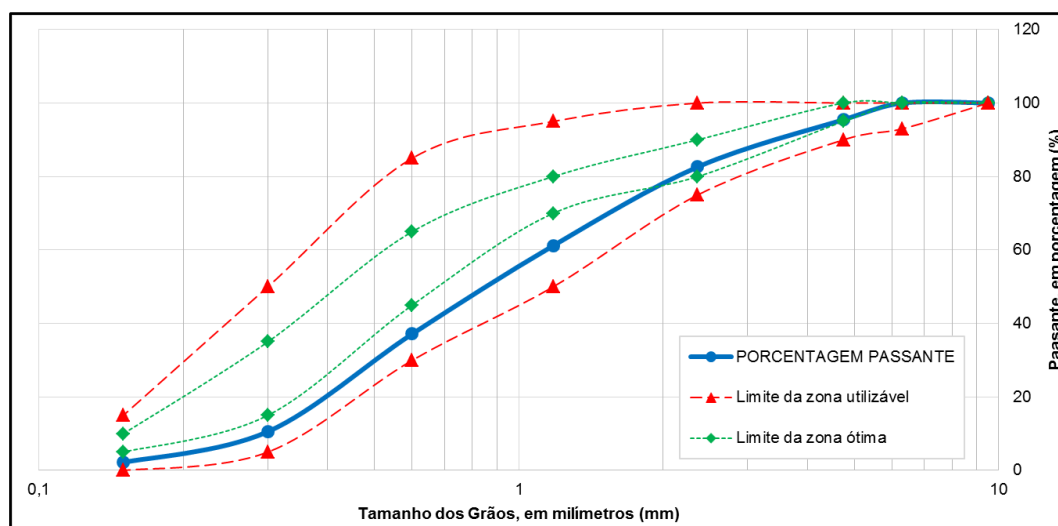
Ensaio	Norma	Agregado miúdo	Agregado graúdo
Dimensão Máxima Característica – DMC	ABNT NBR NM 248 (2001)	4,75 mm	9,50 mm
Módulo de Finura – MF	ABNT NBR NM 248 (2001)	3,11	5,89
Massa unitária de material no estado solto	ABNT NBR NM 45 (2006)	1,74 kg/dm <sup>3</sup>	1,5 kg/dm <sup>3</sup>
Teor de umidade total	ABNT NBR 9939 (2011)	3,13 %	1,65 %
Índice de forma pelo método do paquímetro	ABNT NBR 7809 (2006)	-	Dispensado

Fonte: Elaborado pelo Autor (2017).

Ainda para caracterização dos agregados, realizou-se a granulometria por peneiramento da areia. A distribuição granulométrica do agregado miúdo pode ser vista na Figura 4, bem como os limites da zona considerada ótima e da zona utilizável.



Figura 4 – Curva granulométrica do agregado miúdo

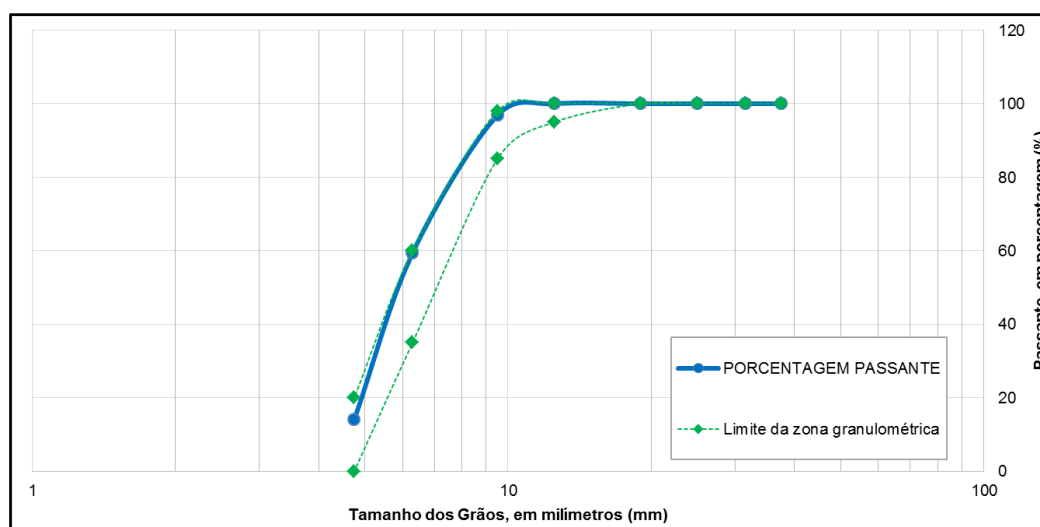


Fonte: Elaborado pelo Autor (2017).

Com base nas curvas granulométricas ilustradas no gráfico da Figura 4, é possível verificar a insuficiência de finos na composição deste agregado, caracterizando um material constituído de grãos de dimensão maiores. Consideravelmente, haverá maior quantidade de vazios presentes no concreto, interferindo na resistência a compressão.

A granulometria do pedrisco também foi realizada. Na Figura 5, pode-se visualizar a distribuição granulométrica do agregado graúdo, bem como a zona granulométrica de menor e maior dimensão do agregado graúdo, sendo atribuídas as curvas correspondentes para a verificação denominadas como limite da zona granulométrica.

Figura 5 – Curva granulométrica do agregado graúdo



Fonte: Elaborado pelo Autor (2017).

A Figura 5 mostra a zona correspondente ao agregado denominado como brita 0, com diâmetro menor em 4,75 mm e maior em 12,5 mm. A predominância caracterizou-se pela presença de agregados de menor

dimensão na composição, tendo maiores quantidades de passantes em cada peneira, contudo dentro dos limites admissíveis.

### 3.3 Dosagem do traço

Considerando o método do menor volume de vazios, tomando como base a massa unitária do agregado, ensaiaram-se diferentes proporções de massas de misturas de pedrisco e areia, que foram compactados em um recipiente de volume conhecido. A Figura 6 ilustra a sequencia dos procedimentos adotados durante o ensaio, a fim de determinar grau de variação de massa dos agregados que caibam no recipiente. A proporção ideal será definida no instante em que a quantidade de agregado miúdo foi o suficiente para preencher os vazios existentes entres os grãos do agregado graúdo, observada pela maior massa obtida da relação dos agregados.

Figura 6 – Ensaio do método de melhor proporção pedrisco/areia



Fonte: do Autor (2017).

A Tabela 4 apresenta a relação de diferentes proporções de agregados graúdos e miúdos submetidas à realização do ensaio, bem como os resultados obtidos para a massa unitária do agregado.

Tabela 4 – Resultado do ensaio do menor volume de vazios

Proporção Pedrisco / Areia	Massa Unitária do Agregado
%	kg/cm <sup>3</sup>
100/0	1,6724
90/10	1,7872
80/20	1,9060
70/30	1,9909
60/40	2,0646
<b>50/50</b>	<b>2,1095</b>
40/60	2,0984
30/70	2,0836

Fonte: Elaborado pelo Autor (2017).

Com os resultados da Tabela 4, é possível verificar a proporção pedrisco/areia que resulta na maior massa unitária do agregado. Portanto, a proporção 50% de pedrisco e 50% de areia é considerada a relação de mistura ideal pelo método. Entretanto, considerando a média de preços comerciais de brita 0 e areia grossa na região, é economicamente mais viável reduzir a quantidade de areia. Outro fator determinante é a areia apresentar maior superfície de contato, necessitando maiores quantidade de aglomerante para envolver os grãos.

Considerando os estudos de traços realizados em experimentos de outros autores, buscou-se embasamento em resultados de resistência característica aos 28 dias acima de 35 MPa, conforme exigido para tráfego de pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linha. Quanto aos aglomerantes empregados, todos autores utilizaram em seus experimentos o cimento CP V-ARI, somente Vargas (2002) usou o cimento CP II-Z-32. A Tabela 5 mostra os resultados obtidos por esses autores.

Tabela 5 – Pesquisa bibliográfica de traços experimentais

Identificação do traço	Cimento Kg	Areia média Kg	Areia fina kg	Pedrisco kg	Total de agregados kg	Relação a/c	Teor de argamassa ( $\alpha$ )	Resist. à compr. 28 dias MPa
MACHADO (2015)	1	2,27	1,27	0,91	4,45	0,31	0,83	39,60
HOOD (2006)	1	2,67	0,67	1,16	4,50	0,37	0,79	38,64
VARGAS (2002)	1	1,69	2,42	1,02	5,13	0,42	0,83	37,00
CRUZ (2003)	1	2,50	0,83	1,08	4,41	0,31	0,80	36,90
SANTOS (2012)	1	1,71	0,93	1,17	3,81	0,35	0,76	36,74

Fonte: Elaborado pelo Autor (2017) com base em dados de Machado (2015), Hood (2006), Vargas (2002), Cruz (2003) e Santos (2012).

Analisando os dados e parâmetros obtidos nos ensaios realizados pelos autores consultados, aliado aos materiais disponíveis e considerando um traço econômico, fixaram-se os traços de dosagem apresentados na Tabela 6.

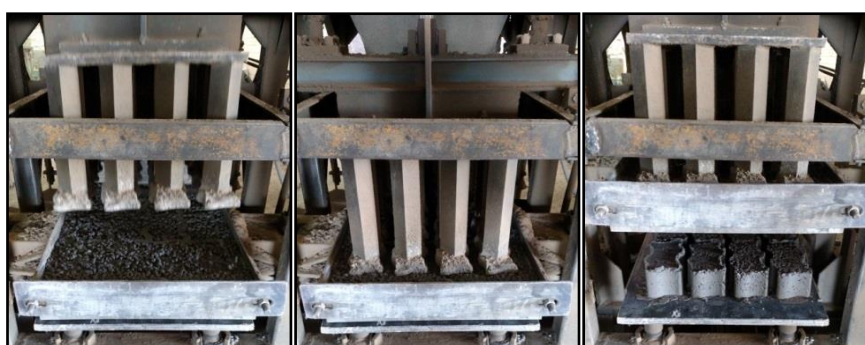
Tabela 6 – Determinação dos traços estudados

Identificação do Traço	Cimento kg	Areia Kg	Pedrisco kg	Total de agregados kg	a/c	Teor de argamassa ( $\alpha$ )
1	1	2,00	2,00	4,00	0,30	0,60
2	1	2,00	2,00	4,00	0,34	0,60
3	1	2,50	2,50	5,00	0,30	0,58
4	1	2,50	2,50	5,00	0,34	0,58
5	1	3,00	1,00	4,00	0,30	0,80
6	1	3,00	1,00	4,00	0,34	0,80
7	1	3,75	1,25	5,00	0,30	0,79
8	1	3,75	1,25	5,00	0,34	0,79

Fonte: Elaborado pelo Autor (2017).

Os traços foram misturados em betoneira disponível na fábrica e realizado o lançamento manual para o silo de concreto na parte superior da vibro-prensa. A quantidade determinada para cada mistura foi o dobro do necessário para a fabricação de uma tábua comendo 12 unidades de pavers, sendo descartada a sobra de concreto. Na Figura 7, é possível visualizar as etapas de lançamento do concreto pelo silo superior, com vibração da mesa para espalhamento e distribuição adequada nas fôrmas, seguida de prensagem dos blocos e a conclusão dos mesmos.

Figura 7 – Prensa pneumática utilizada na produção dos blocos de concreto



Fonte: do Autor (2017).

O procedimento de cura adotado foi o comumente empregado pela fábrica, que consiste no armazenamento dos blocos em área coberta e realizada a molhagem com água corrente nas primeiras horas após a moldagem e outra após, aproximadamente, 18 horas. Nesse procedimento ocorrem alterações de cura com as variações climáticas.

### 3.4 Ensaios nos blocos pré-moldados de concreto

Após o período de cura, as amostras são retiradas aleatoriamente e identificadas para submetê-las aos ensaios, conforme a Tabela 7. Por ser facultativo, o ensaio de resistência à abrasão não foi realizado neste estudo.

Tabela 7 – Amostragem para ensaio

Propriedade	Quantidade de amostras
Inspecção visual	6*
Avaliação dimensional	6*
Absorção de água	3
Resistência à compressão	6
Resistência à abrasão	3**

\* As peças amostradas podem ser utilizadas também para os ensaios de resistência à compressão ou abrasão.

\*\* Ensaio facultativo.

Fonte: ABNT NBR 9781 (2013).

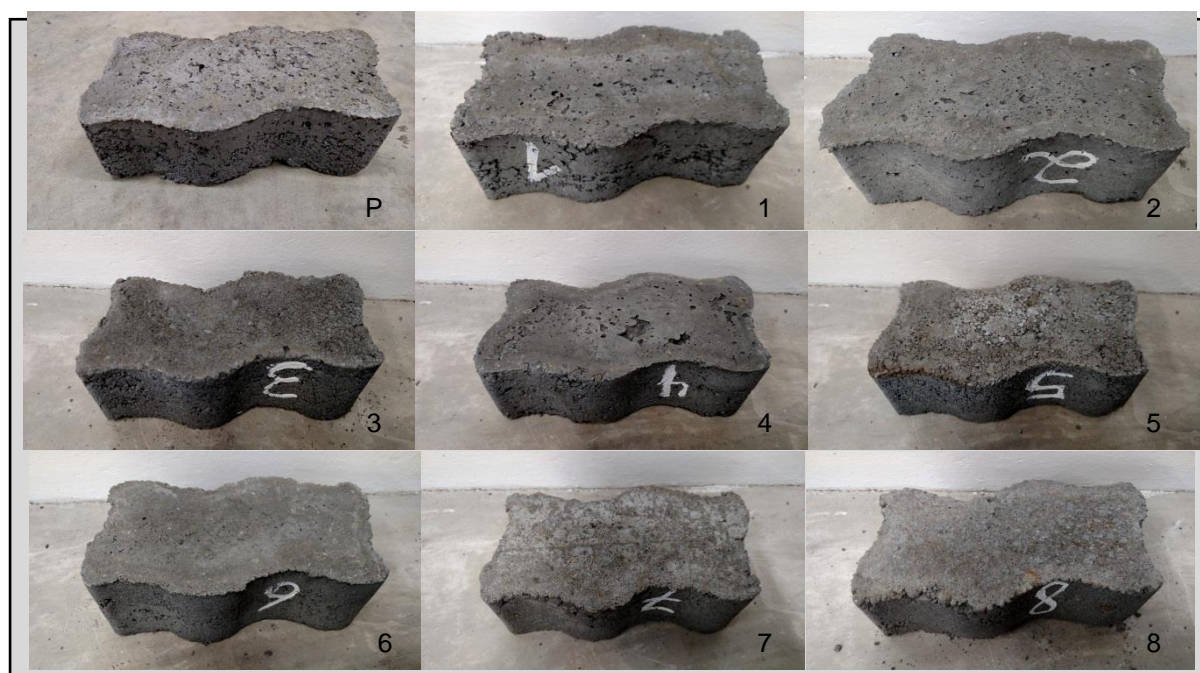
## 4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS



#### 4.1 Ensaios aplicados nos blocos de dosagem inicial

As amostras passaram por uma análise técnica visual, ressaltando os critérios requeridos pela NBR 9781 (ABNT, 2013). A amostra identificada como “P”, foi coletada aleatoriamente de um lote produzido pela fábrica da Prefeitura Municipal, com o intuito de realizar uma análise das atuais condições que se encontram os blocos. A Figura 8 ilustra os blocos confeccionados e analisados no estudo.

Figura 8 – Aspectos visuais dos blocos analisados



Fonte: Elaborado pelo Autor (2017).

Com o intuito de obter um traço consideravelmente econômico, reduzindo a adição de cimento, a amostra “P” produzida pela equipe da Prefeitura apresenta alto índice de vazios, em decorrência de um traço fraco, com insuficiência de pasta de cimento. Considerando os traços com presença maior de agregado miúdo, houve uma melhora no acabamento, havendo menores vazios ou falhas no concreto. Estes vazios afetam a durabilidade da peça, assim como ocorre uma diminuição na resistência.

O emprego de uma vibro-prensa com sua vida útil elevada apresentam desgastes entre contato forma-prensa, ocorrendo presença de rebarba na parte inferior e superior, sendo mais acentuada quanto maior for a relação a/c. Os cantos irregulares, ou com presença de rebarba, comprometem o correto assentamento e travamento das peças no pavimento. A Tabela 8 apresenta os resultados obtidos nos ensaios de avaliação dimensional, absorção de água e resistência característica à compressão aos 28 dias.

Tabela 8 – Resultado da avaliação dimensional, absorção de água e resistência característica à compressão dos blocos

Identificação do traço	Ensaio aplicado nas peças de concreto para pavimentação							
	Avaliação dimensional dos blocos			Absorção de água		Resistência característica à compressão, aos 28 dias		
	Média		s	Média	s	Média	f <sub>pk,est.</sub>	s
P	Comprimento	201,24	0,92	6,45	0,32	18,14	15,62	2,74
	Largura	100,69	0,97					
	Espessura	74,63	0,40					
1	Comprimento	200,66	0,49	3,42	0,98	22,57	20,06	2,72
	Largura	99,31	0,70					
	Espessura	73,67	0,94					
2	Comprimento	200,61	0,66	3,21	0,03	30,33	29,07	1,36
	Largura	99,92	0,96					
	Espessura	75,51	1,59					
3	Comprimento	200,86	1,29	4,22	1,13	19,30	15,45	4,18
	Largura	98,16	0,99					
	Espessura	76,80	0,63					
4	Comprimento	200,40	0,76	3,00	0,80	32,07	29,31	3,00
	Largura	100,20	0,33					
	Espessura	75,31	1,83					
5	Comprimento	200,33	0,58	4,57	0,68	29,20	24,68	4,92
	Largura	99,32	0,87					
	Espessura	74,08	0,86					
6	Comprimento	201,08	0,78	3,22	0,71	31,28	27,83	3,75
	Largura	99,71	0,78					
	Espessura	75,45	0,87					
7	Comprimento	200,83	0,37	6,47	0,69	14,82	13,19	1,78
	Largura	99,64	0,57					
	Espessura	76,56	0,75					
8	Comprimento	201,29	0,44	6,18	1,15	10,74	8,88	2,03
	Largura	98,80	0,86					
	Espessura	74,80	0,58					

Fonte: Elaborado pelo Autor (2017).

De acordo com a Tabela 8, pode-se concluir que o comprimento e largura dos blocos se enquadram nas dimensões e tolerâncias impostas pela Norma, considerando comprimento nominal máximo 250mm e largura real de no mínimo 97mm. Quanto à espessura das peças, devem ter uma dimensão mínima de 60mm e apresentar múltiplos de 20mm, porém os resultados obtidos demonstram uma espessura próxima de 75mm, tornando os blocos sem padronização quanto ao estabelecido em Norma. Avaliando estes parâmetros, os blocos produzidos na fábrica são impróprios para uso, pois a vibro-prensa foi regulada com espessura menor do que o exigido.

Ainda analisando os resultados da Tabela 8, pode-se verificar um melhor desempenho da absorção nos traços identificados como 2, 4 e 6. A variação da relação a/c, ou seja, da quantidade de água inserida no traço, teve grande influência na absorção devido à insuficiência de água para hidratação do cimento. Os traços identificados como P, 7 e 8 não atenderam o limite de absorção médio, comprometendo sua

durabilidade. Esta alta absorção de água é explicada devido à alta quantidade de vazios entre os grãos, decorrente da falta de agregados finos para preenchimentos dos vazios existentes, aliado à falta de pasta de cimento para envolver os agregados.

Considerando a importância da resistência à compressão das peças na durabilidade do pavimento, e verificando a Tabela 8, foram obtidos melhores desempenhos nos traços identificados como 2, 4 e 6. A relação a/c maior nestes traços teve grande influência na hidratação do cimento, originando melhor desempenho. Vale destacar que o traço da prefeitura, embora não tenha tido o pior desempenho entre os estudados, não chegou nem perto da resistência de 35 MPa.

#### 4.2 Alterações na confecção dos blocos

Com o intuito de aprimorar os resultados dos ensaios iniciais, buscou-se analisar os resultados de inspeção visual, absorção de água e principalmente a resistência à compressão dos blocos. Optou-se em selecionar 2 traços que demonstraram melhor desempenho e eficiência, dentre os já estudados neste trabalho. Os traços identificados como 4 e 6 apresentaram menores absorções de água, indicando menor quantidade de vazios, tornando a resistência à compressão maior e contribuindo para uma durabilidade mais longa do pavimento. O aspecto visual destas amostras também foi um fator determinante, menor quantidade de falhas em meio ao concreto. Com os dois traços selecionados serão confeccionados novos blocos pré-moldados de concreto alterando o agregado miúdo e o cimento empregado.

Procurou-se alterar o agregado miúdo, pois o mesmo teve indicativo de falta de finos na sua composição granulométrica. Esta modificação tem pouca implicação no custo do traço definido, porém, contribui para selar os vazios entre grãos e melhorar aspectos visuais dos blocos.

Com o objetivo de obter alta resistência inicial, encurtando o processo de cura dos blocos e promovendo a implantação mais rápida de ruas, adotou-se o uso de cimento CPV-ARI para fins comparativos, visto que vários autores vistos na literatura empregaram este cimento nos seus traços. Este cimento é fabricado pelo Grupo Votorantim Cimentos, apresentando secagem ultrarrápida e uma ultrarresistência.

Considerando os parâmetros descritos anteriormente, a Tabela 9 apresenta os traços identificados como 4A e 6A, com dosagem aplicada em massa.

Tabela 9 – Determinação do melhoramento de traço

Identificação do Traço	Cimento		Areia kg	Pedrisco kg	Total de agregados kg	a/c	Teor de argamassa ( $\alpha$ )
	Tipo	kg					
4A	CPV-ARI	1	2,50	2,50	5,00	0,32	0,58
6A	CPV-ARI	1	3,00	1,00	4,00	0,32	0,80

Fonte: Elaborado pelo Autor (2017).

A adição de água foi feita gradativamente, controlando a quantidade e verificando a consistência do concreto. Desta forma, chegou-se a uma relação a/c (água/cimento) de 0,32 para ambos os traços. A umidade dos agregados no momento da dosagem é um fator decisivo na adição de água, constituindo uma

variável na determinação do traço.

O agregado miúdo adotado no aprimoramento dos blocos tem procedência de uma extração do Rio Jacuí/RS. O aspecto da areia pode ser visualizado na Figura 9.

Figura 9 – Aspecto visual do novo agregado miúdo



Fonte: do Autor (2017).

Para determinação das características da areia adotada para os novos testes, realizou-se a granulometria por peneiramento, massa unitária e teor de umidade total natural no momento da dosagem do concreto. A Tabela 10 apresenta as características físicas dos novos agregados utilizados.

Tabela 10 – Definição das características físicas dos novos agregados

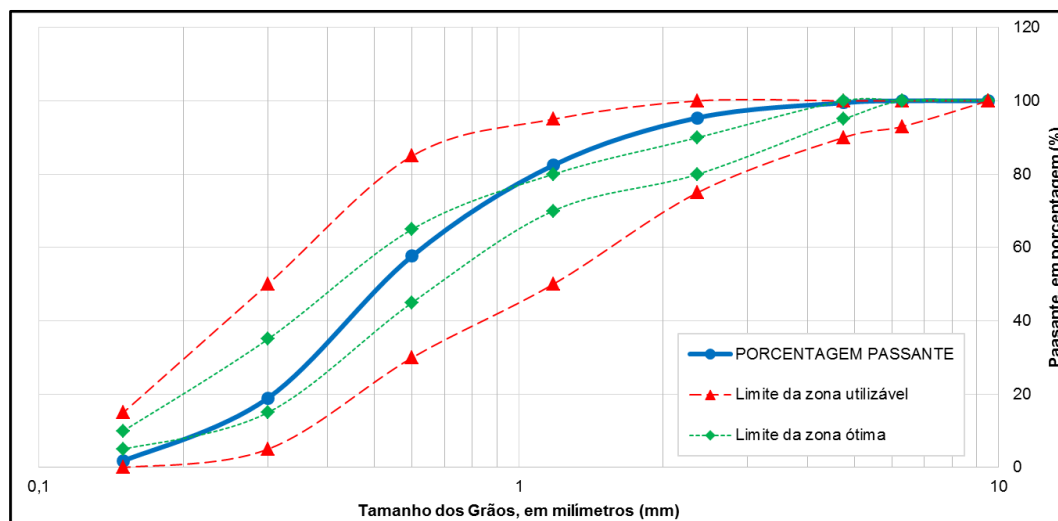
Ensaio	Norma	Agregado miúdo	Agregado graúdo
Dimensão Máxima Característica – DMC	ABNT NBR NM 248 (2001)	2,36 mm	9,50 mm
Módulo de Finura – MF	ABNT NBR NM 248 (2001)	2,44	5,89
Massa unitária de material no estado solto	ABNT NBR NM 45 (2006)	1,58 kg/dm <sup>3</sup>	1,5 kg/dm <sup>3</sup>
Teor de umidade total	ABNT NBR 9939 (2011)	3,94 %	1,70 %
Índice de forma pelo método do paquímetro	ABNT NBR 7809 (2006)	-	Dispensado

Fonte: Elaborado pelo Autor (2017).

Na Figura 10, apresenta-se o resultado do ensaio de granulometria por peneiramento realizado com a areia.



Figura 10 – Curva granulométrica do novo agregado miúdo



Fonte: Elaborado pelo Autor (2017).

Analisando a Figura 10, verifica-se que houve grande modificação na composição do agregado miúdo, sendo constituído de maiores quantidades de grãos finos. Este fator proporcionará preencher os vazios entre os agregados graúdos, aumentando, assim, a resistência das peças.

### 4.3 Ensaios aplicados nos novos blocos

O aspecto visual dos novos blocos confeccionados procedeu-se verificando o acabamento, detectando possíveis defeitos ou imperfeições que possam comprometer a estrutura de intertravamento ou estética do pavimento. A Figura 11 ilustra a aparência de cada bloco com seu respectivo traço.

Figura 11 – Inspeção visual



Fonte: do Autor (2017).

Os traços identificados como 6A e 6B apresentam em suas constituições maiores quantidades de agregado miúdo, favorecendo uma superfície mais regular e lisa. Os resultados da avaliação dimensional, absorção de água e resistência característica à compressão dos blocos podem ser visualizadas na Tabela 11.

Tabela 11 – Resultado da avaliação dimensional, absorção de água e resistência característica à compressão dos blocos

Identificação do traço	Ensaio aplicados nas peças de concreto para pavimentação							
	Avaliação dimensional dos blocos			Absorção de água		Resistência característica à compressão, aos 28 dias		
	Média		s	Média	s	Média	f <sub>pk,est.</sub>	s
4A	Comprimento	201,64	0,85	3,25	0,12	43,69	40,31	3,68
	Largura	101,57	1,06					
	Espessura	75,11	1,41					
6A	Comprimento	200,90	1,32	4,32	0,18	33,11	30,15	3,21
	Largura	102,15	0,39					
	Espessura	75,72	0,68					

Fonte: Elaborado pelo Autor (2017).

A avaliação dimensional dos blocos verificada na Tabela 11 apresentou adequadas dimensões no comprimento e na largura, com medidas próximas de 200mm e 100mm respectivamente, e sem registro de variações maiores de 3mm, tolerados pela NBR 9781 (ABNT, 2013). Analisando a espessura do bloco, nota-se a despadronização da dimensão, sendo que é recomendado para tráfego pequeno e médio no mínimo 80mm, e medidas em múltiplos de 20mm. No caso dos blocos produzidos, foram obtidos valores próximos de 75mm, estando desadequado para uso em ruas urbanas do Município.

Ainda observando os dados da Tabela 11, o traço identificado como 4A, apresentou a menor absorção de água e teve a maior resistência característica a compressão. Ao realizar uma análise geral de todos os traços, as amostras com cimento CPV-ARI tiveram melhor desempenho entre os analisados.

Importante destacar que os traços propostos neste estudo apresentaram resistência mais adequada, conforme exigência normativa, que o traço atualmente empregado pela Prefeitura Municipal na confecção dos blocos para pavimentação. Isso demonstra que é fundamental realizar o controle tecnológico da confecção das peças para garantir uma maior qualidade no produto fabricado.

## 5 CONCLUSÕES

O presente trabalho teve como objetivo principal dosar um traço de concreto adequado, de forma a atender os critérios estabelecidos pela NBR 9781 (ABNT, 2013), utilizando os equipamentos e materiais disponíveis na fábrica da Secretaria Municipal de Obras de um município do Rio Grande do Sul. Considerando o processo de dosagem utilizado atualmente, sendo os agregados medidos em volume e a adição de água a critério do operador, torna o traço impreciso, sujeito a variações e comprometendo aspectos visuais e resistência à compressão dos blocos. Outro fator relevante é o estado de conservação dos equipamentos, sem procedimentos de manutenção e prevenção, aliado ao desgaste natural do uso diário.

A vibro-prensa constitui de procedimentos manuais controladas pelo operador, ocasionando variações de tempo na vibração e prensagem. Isto reflete nas variações de resultados, sendo importante a adoção de processos automatizados. As calibrações do alinhamento das chapas de prensagem são influenciáveis na prensagem homogênea de cada bloco, ocorrendo diferenças prejudiciais de prensagem entre os 12 blocos de cada ciclo de produção. Considerando os resultados da avaliação dimensional dos blocos, é importante destacar a adoção inadequada da espessura, devido à regulagem da prensa. Aos critérios da NBR 9781

(ABNT, 2013), o descumprimento das dimensões e tolerâncias das peças, resulta na rejeição do lote dos blocos.

O método de compra de materiais adotado impossibilita uma análise técnica da qualidade dos materiais, pois o processo se dá por licitação, critério de compra de materiais em órgão público, que valida o critério de menor preço, normalmente independente da qualidade dos agregados. Este procedimento, por exemplo, não poderia evitar a compra do agregado graúdo com presença de grãos lamelares, indesejáveis na produção de um concreto de melhor qualidade e eficiência. No caso do agregado miúdo, recomenda-se escolher a melhor distribuição granulométrica, com a realização de ensaios em laboratório e análise técnica. Destaca-se a importância de conhecer as características e propriedades dos materiais na composição do concreto, implicação diretamente na capacidade final das peças. O controle de qualidade na produção do concreto é fundamental para a produção dos blocos, como verificado no decorrer deste estudo. Ressalta-se que os traços propostos neste trabalho apresentaram melhores desempenhos às exigências normativas, se comparado ao traço adotado atualmente pela Prefeitura Municipal na fabricação de blocos para pavimentação. Estas situações são observadas na absorção de água e na resistência a compressão, além de proporcionarem melhores aspectos visuais aos blocos.

A adoção do traço 4A com cimento CP V - ARI promoveu um melhor desempenho na capacidade de resistência à compressão final do bloco. Ao realizar uma análise comparativa do traço 4A, confeccionado com 1:5 (cimento:agregado), com os blocos fabricados pela Prefeitura Municipal de proporção 1:7,25 (cimento:agregado), obteve-se na resistência a compressão um ganho superior a 158%. Este aumento significativo tem relação com a importância do estudo das propriedades dos materiais e da dosagem do concreto na produção dos blocos pré-fabricados.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. Norma Brasileira Regulamentadora – NBR. **NBR 5733: 1991 – Cimento Portland de alta resistência inicial**. 1. ed. 5 p. Rio de Janeiro: ABNT, 1991.
- \_\_\_\_\_. **NBR 5736: 1991 – Cimento Portland pozolânico**. 1. ed. 5 p. Rio de Janeiro: ABNT, 1991.
- \_\_\_\_\_. **NBR 7211: 2009 – Agregado para concreto: Especificações**. 3. ed. 9 p. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.
- \_\_\_\_\_. **NBR 7809: 2006 – Agregado graúdo: Determinação do índice de forma pelo método do paquímetro – Método de ensaio**. 1. ed. 3 p. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.
- \_\_\_\_\_. **NBR 9781: 2013 – Peças de concreto para pavimentação: Especificação e métodos de ensaio**. 2. ed. 21 p. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.
- \_\_\_\_\_. **NBR 9939: 2011 – Agregado graúdo: Determinação do teor de umidade total – Método de ensaio**. 2. ed. 3 p. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.
- \_\_\_\_\_. **NBR NM 248: 2001 – Agregados: Determinação da composição granulométrica**. 1. ed. 6 p. Rio de Janeiro: ABNT, 2001.
- \_\_\_\_\_. **NBR NM 26: 2009 – Agregados: Amostragem**. 1. ed. 10 p. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.
- \_\_\_\_\_. **NBR NM 27: 2001 – Agregados: Redução da amostra de campo para ensaios de laboratório**. 1. ed. 7 p. Rio

de Janeiro: ABNT, 2001.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 45: 2006 – Agregados:** Determinação da massa unitária e volume dos vazios. 1. ed. 8 p. Rio de Janeiro: ABNT, 2006.

CRUZ, Luiz O. M. **Pavimento intertravado de concreto:** estudo dos elementos e métodos de dimensionamento. Jun. 2003, 281 f. Tese de Mestrado (Programa de Pós-Graduação de Engenharia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, Rio de Janeiro, RS, 2003.

FIORITI, Cesar F. **Pavimentos intertravados de concreto utilizando resíduos de pneus como material alternativo.** 2007. 218 f. Tese de Doutorado (Curso de Ciências da Engenharia Ambiental – Escola de Engenharia de São Carlos) – Universidade de São Paulo – USP, São Carlos, SP, 2007.

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

MACHADO, Rodrigo. **Estudo aplicado da solução de projeto de pavimentação para pátio de estacionamento de ônibus.** 2015. 110 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenheiro de Infraestrutura – Centro de Engenharias da Mobilidade – CEM) – Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Joinville, SC, 2015.

SANTOS, Cassiano R. dos. **Estudo da utilização de rejeitos de carvão mineral na fabricação de blocos de concreto para pavimentação em substituição ao agregado miúdo natural.** Set. 2012. 161 f. Tese de Mestrado (Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais – PPGE3M) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Porto Alegre, RS, 2012.

SOUZA, André M. L. de. **Pavimentação com blocos intertravados de concreto:** análise crítica da técnica de execução. Jun. 2013. 75 f. Trabalho de Diplomação (Curso de Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Porto Alegre, RS, 2013.

VARGAS, Alexandre S. de. **Estudo da viabilidade do uso do pó de aciaria elétrica a arco na confecção de blocos de concreto para pavimentação.** 2002. 166 f. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais – PPGE3M) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Porto Alegre, RS, 2002.