

## Reúso de água e resíduos de lavagem de caminhões betoneiras: análise do efeito na resistência à compressão em novos concretos

Vilmar dos Santos Malaguti <sup>1</sup>, Vsevolod Anatolievich Mymrin <sup>2</sup>,  
Adalberto Matoski <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Mestrando – PPGEC – Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil – Materiais - UTFPR, Curitiba, PR  
e-mail: engvmalaguti@gmail.com

<sup>2</sup> PPGEC – Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil - Materiais – UTFPR, Curitiba, PR  
e-mail: seva6219@gmail.com; e-mail: adalberto@utfpr.edu.br

### RESUMO

O objetivo deste trabalho é analisar o efeito do reúso da água e dos resíduos de lavagem dos caminhões betoneiras na resistência à compressão de concretos. O método para analisar a influência destes materiais na resistência à compressão foi comparar uma amostra-controle (traço padrão de 30 MPa) com amostras de diferentes composições. O resultado de cada amostra foi diferente em função de sua composição, no entanto, pode-se afirmar que a água e o resíduo de lavagem não afetaram de forma significativa a resistência à compressão, pois, todas as amostras com 100% de cimento deram resultados superiores a 90% da amostra-controle.

Percebe-se que a maior proporção das partículas do resíduo de lavagem está entre 1 e 10  $\mu\text{m}$ , ou seja, as partículas são finas e semelhantes às do cimento. Nota-se, por meio do método de fluorescência de raio x, que nenhum elemento químico diferente foi encontrado no resíduo de concreto, todos aparecem no cimento.

Observa-se, também, que não houve síntese de novos minerais, somente pequenas quantidades (menor do que os limites de detecção do método de difração de raio x) de aluminossilicatos e quartzo dissolvidos, que foram sintetizados em novos minerais cristalinos, podendo ser atribuídos como substâncias amorfas em estado sol-gel.

**Palavras-chave:** concreto, reúso, lavagem, resíduos, água.

### ABSTRACT

The objective of this work is to analyze the effect of the reuse of water and washing residues of concrete mixers on the compressive strength of concretes. The method for analyzing the influence of these materials on compressive strength was to compare a control sample (standard 30 MPa trace) with samples of different compositions. The result of each sample was different according to its composition, however, it can be stated that the water and the washing residue did not significantly affect the compressive strength, since all the samples with 100% cement gave results greater than 90% of the control sample.

It can be seen that the largest proportion of the particles of the washing residue is between 1 and 10  $\mu\text{m}$ , the particles are thin and similar to those of the cement. It is noted by means of the x-ray fluorescence method, that no different chemical elements were found in the concrete residue, all appear in the cement.

It is also observed that there was no synthesis of new minerals, only small amounts (less than the detection limits of the x-ray diffraction method) of dissolved aluminosilicates and quartz, which were synthesized in new crystalline minerals, and can be attributed. As amorphous substances in the sol-gel state.

**Keywords:** Concrete, reuse, Wash, waste, water.

### 1. INTRODUÇÃO

A água de lavagem e o resíduo de concreto são gerados em larga escala nas centrais dosadoras de concreto, acarretando em custo para as empresas e oferecendo risco de contaminação ao meio ambiente. SANDROLINI e FRANZONI [1] citam, por meio de estudo realizado na Itália, que para limpeza de um caminhão betoneira com capacidade de 8 m<sup>3</sup> se fazem necessários em torno de 700 a 1300 litros de água. Ainda de acordo

com esses autores [1], na Itália, cada 9 m<sup>3</sup> de concreto usinado gera aproximadamente 200 a 400 kg de concreto no estado fresco. Conforme estudo realizado na Grécia por TSIMAS e ZERVAKI [2], para limpeza de caminhões betoneiras ao final de cada turno diário são necessários em torno de 1500 litros de água.

A água de lavagem dos caminhões é caracterizada como perigosa devido ao seu pH ser superior a 11,5, segundo TSIMAS e ZERVAKI [2]. Para LOW *et al.* [3], água reciclada é aquela usada na lavagem dos caminhões betoneiras, constituída basicamente de água, agregado fino e grosso, cimento e aditivo. Para a água possuir boa qualidade, deve ser limpa, livre de óleo, ácidos, álcalis, matéria orgânica e outras substâncias deletérias, conforme SU *et al.* [4]. A água com boa qualidade é fundamental para as propriedades do concreto, tanto na fase fresca como na endurecida. Para NAZARI *et al.* [5], a resistência à compressão do concreto está relacionada à sua trabalhabilidade e só pode ser obtida se o concreto apresentar um adequado grau de trabalhabilidade relacionado à sua capacidade da autocompactação. As características do concreto fresco, sua resistência e durabilidade podem ser melhoradas pela adição de cimento, cinza volante, sílica, nanopartículas e outros.

As normas DIN 1008 [6], EN 1008 [7] e NBR 15900 [20] definem que o pH da água de amassamento deve ser  $\geq 4$  e  $\geq 5$  respectivamente. A diretriz da ASTM C94 [8] define como opcional a medição dos parâmetros para pH e turbidez. Nenhuma das normas citadas estabelece limite máximo. No estudo realizado por SANDROLINI e FRANZONI [1], foi detectado, com o uso de água de lavagem, que a trabalhabilidade do concreto caiu, embora a classe de consistência se mantivesse a mesma. Esse fato se deu porque a presença de sedimentos fez com que a relação água/cimento diminuísse, resultando em perda de trabalhabilidade. Assim o abatimento também caiu em função do número de sólidos totais presentes na água de lavagem. A absorção de água apresentou leve queda com o uso da água de lavagem segundo SANDROLINI e FRANZONI [1]. Isso se dá devido à presença de partículas finas presentes na água.

A diminuição da absorção da água tem uma ligação direta com a relação água/cimento, ou seja, se diminui o fator água/cimento, diminui a absorção e, conseqüentemente, aumenta a resistência e melhora a durabilidade, conforme SANDROLINI e FRANZONI [1]. A resistência à compressão da amostra com água de lavagem, na maioria das vezes, diminui com sete dias de idade, no entanto atendem as exigências especificadas em normas, segundo TSIMAS e ZERVAKI [2]. Estes também, afirmam que o abatimento é afetado somente com a presença de aditivos e não pela qualidade da água de lavagem, mesmo com a presença excessiva de sólidos totais. Ainda de acordo com os referidos autores, o resíduo de lavagem é um material fino de calcário, testado nas amostras de concreto, melhorando a resistência à compressão do concreto mesmo sem a utilização de aditivos. O material fino teve como papel o preenchimento dos vazios, melhorando o empacotamento das partículas. A trabalhabilidade não foi afetada com o uso de água de lavagem, não houve diferença mesmo com amostras sem aditivos. A presença de óxido de cálcio (CaO) e de óxido de silício (SiO<sub>2</sub>) implica que grande parte do cimento hidratado está presente na água e no resíduo de lavagem retornado ou dispersos na água decantada nos tanques, de acordo com TSIMAS e ZERVAKI [2].

As superfícies de partículas sólidas, quando submetidas a ambientes úmidos e alcalinos, apresentam substâncias iniciais amorfas com síntese em novas formações de sol-gel de silicato de cálcio hidratado – CSH entre os poros de concreto, conforme citado por MYMRIN *et al.* [9].

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

O método utilizado para analisar as amostras compostas foi de compará-las com uma amostra padrão comercial, ou seja, um concreto convencional utilizado no mercado por várias empresas. As amostras foram compostas por material componente do concreto, a variação se deu somente na quantidade de água potável, água de lavagem, resíduo de lavagem e cimento. A amostra controle denominada como CTR apresenta resistência à compressão de 30 MPa – (fck 30 MPa). Os resultados das amostras foram analisados e comparados aos 7 e 28 dias de cura com a amostra controle (CTR). A quantidade que compõe a amostra controle – CTR é proporcional a um metro cúbico de concreto, conforme tabela 1 e 2. Através das análises, as amostras foram desdobradas, denominadas como fase I e II. O desdobramento tem como foco estratificar e refinar as influências da água e do resíduos de lavagem na resistência à compressão do concreto. Na fase I, as amostras A1, A2, A3 e A4 tiveram variabilidade no cimento, água potável, água e resíduo de lavagem. Na fase I a substituição do cimento pelo resíduo de lavagem foi de um (1) pra um (1) em massa. A fase II teve a amostra A4 da fase I decomposta em quatro amostras, conforme tabela 2, onde a variação foi somente na quantidade do resíduo de lavagem. A escolha pela amostra A4 é em função da forte influência do resíduo de lavagem na resistência à compressão do concreto. Na fase II o cimento e a água de lavagem foram ajustados para 100%. Não foi utilizado água potável nas amostras. O resíduo de concreto foi adicionado nas amostras na proporção de 8%, 16%, 32% e 48% respectivamente.

## 2.1 Cimento Portland

O Cimento Portland é um composto com fíler. Ele apresenta secagem rápida e uma excelente trabalhabilidade aplicado aos mais diversos tipos de obras. O cimento utilizado CII F – 32 foi caracterizado conforme ASTM C150 [10]. O método para medir a massa específica do cimento foi determinado pela norma ASTM C188 [11]. O cimento CII F 32 Itambé apresentou massa específica média de 3,11 g/cm<sup>3</sup>.

## 2.2 Agregados de concreto

Para brita 1, areia fina e industrial, a distribuição granulométrica foi determinada pela norma ASTM C136 [12] e NBR NM 248 [24]. A massa específica e a massa unitária foram determinadas pela norma ASTM C128 [13], NBR NM 52 [22], NBR NM 53 [23] e NBR NM 45 [21].

## 2.3 Água de abastecimento público – potável

A água de abastecimento público não foi ensaiada, pois atende ao que determina nas normas ASTM C1602 [14].

## 2.4 Água de lavagem dos caminhões betoneiras

A quantidade de cloreto, o pH, a quantidade de sólidos dissolvidos, sulfatos e turbidez foram testados conforme especificação da norma APHA [15] em laboratório específico. Os resultados foram comparados com as normas DIN 1008 [6], EN 1008 [7], ASTM C94 [8] e NBR 15900 [20].

## 2.5 Resíduos da lavagem dos caminhões betoneiras

A amostra de resíduo de lavagem foi coletada e seca em estufa durante 48 horas a 110° graus. Após a secagem, o resíduo virou um pó, o qual foi novamente seco a vácuo e após submetido à análise química através de FRX – fluorescência por raio “x”, análise de DRX – difração de raio “x” e depois analisados de acordo com a norma ASTM C150 [10].

## 2.6 Amostras de concreto

A resistência à compressão das amostras de concreto foi testada de acordo com o método citado pela norma ASTM C39 [16] e o abatimento do concreto fresco foi medido de acordo com método determinado na norma ASTM C143 [17]. Para cada amostra foi moldado 06 corpos de prova para 7 dias e 06 para 28 dias de idade. A cura dos 12 corpos de provas (cilindros 100x200 mm) obedecem aos parâmetros recomendados nas normas ASTM C94 [18] e NBR NM 67 [25].

## 2.7 Composição das amostras de concreto

A Tabela 1 mostra a composição das amostras de concreto da fase I.

**Tabela 1:** Composição das amostras de concreto.

Amostras	Cimento	Areia Industrial	Areia fina	Brita 1	Aditivo	Água potável	Água de lavagem	Resíduo de lavagem
	kg	kg	Kg	Kg	g	Kg	Kg	Kg
CTR	6,842	14,459	7,237	24,333	47,896	4,051	0,000	0,000
% das amostras A1, A2, A3 e A4 referente as quantidades de CTR								
A1	100%	100%	100%	100%	100%	50%	50%	0%
A2	100%	100%	100%	100%	100%	0%	100%	0%
A3	100%	100%	100%	100%	100%	0%	50%	50%
A4	90%	100%	100%	100%	100%	0%	100%	10%

A amostra CTR mostra em sua composição 100% de água potável, a fim de comparar com a demais amostras com composição que não apresentam água potável. As amostras da fase I (A1, A2, A3e A4) variam

em sua composição: a água potável, água de lavagem, resíduos de lavagem e cimento. As quantidades são baseadas no CTR – amostra controle.

A Tabela 2 mostra a composição das amostras de concreto na fase II.

**Tabela 2:** Composição das amostras de concreto.

Amostras	Cimento	Areia industrial	Areia fina	Brita 1	Aditivo	Água potável	Água de lavagem	Resíduo de lavagem
	kg	kg	kg	kg	g	kg	kg	kg
CTR	6,842	14,459	7,237	24,333	47,896	4,051	0,000	0,000
% das amostras referente as quantidades de CTR								
AD1	100%	100%	100%	100%	100%	0%	100%	8%
AD2	100%	100%	100%	100%	100%	0%	100%	16%
AD3	100%	100%	100%	100%	100%	0%	100%	32%
AD4	100%	100%	100%	100%	100%	0%	100%	48%

Na fase II, a amostra A4 citada na Tabela 1 foi decomposta em quatro amostras, a AD1, AD2, AD3 e AD4. Para as amostras decomposta a porcentagem para cimento e água de lavagem foram ajustadas a 100%, mantendo a variação somente para o resíduo de lavagem.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1 Agregados

A tabela 3 mostra os resultados dos ensaios realizados nos agregados utilizados nas amostras de concreto.

**Tabela 3:** Resultados dos ensaios dos agregados utilizados nas amostras de concreto.

AGREGADOS	Massa específica - seco	Massa unitária
	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>
	NBR NM 52 [22] / 53 [23]	NBR NM 45 [21]
Areia Industrial	2840	1430
Areia fina	2650	1420
Brita 1	2660	1450

Observa-se através da figura 1 que a distribuição granulométrica da areia industrial de calcário ficou dentro da zona utilizável superior, conforme módulo de finura. Módulo de finura medindo 2,92 está entre o módulo de finura da zona utilizável superior 2,90 a 3,50. Nota-se pela figura 2 que a curva granulométrica da areia fina de arenito ficou mais na zona utilizável inferior, conforme módulo de finura. A areia está no limite de sua utilização. O módulo de finura medido foi de 1,62 e está entre o módulo de finura da zona utilizável inferior 1,55 a 2,20. A curva granulométrica da brita 1 de basalto, conforme figura 3, ficou fora da linha do limite superior na peneira de 12,5 mm, no entanto não interferiu, porque o módulo de finura medido foi de 7,02 e está entre o módulo de finura determinado, que é de 6,67 a 7,07. Os resultados dos três agregados atendem as normas para confecção de concreto usinado.

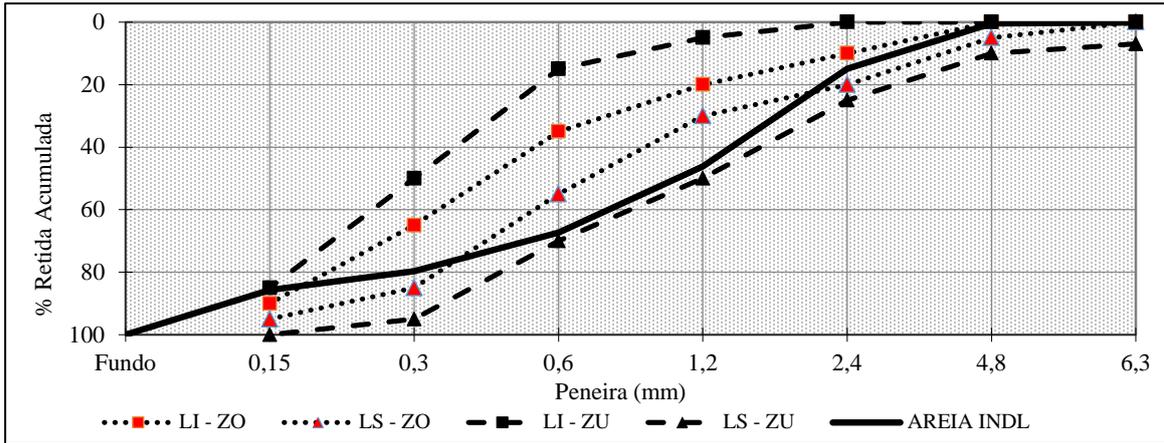


Figura 1: Distribuição granulométrica da areia industrial.

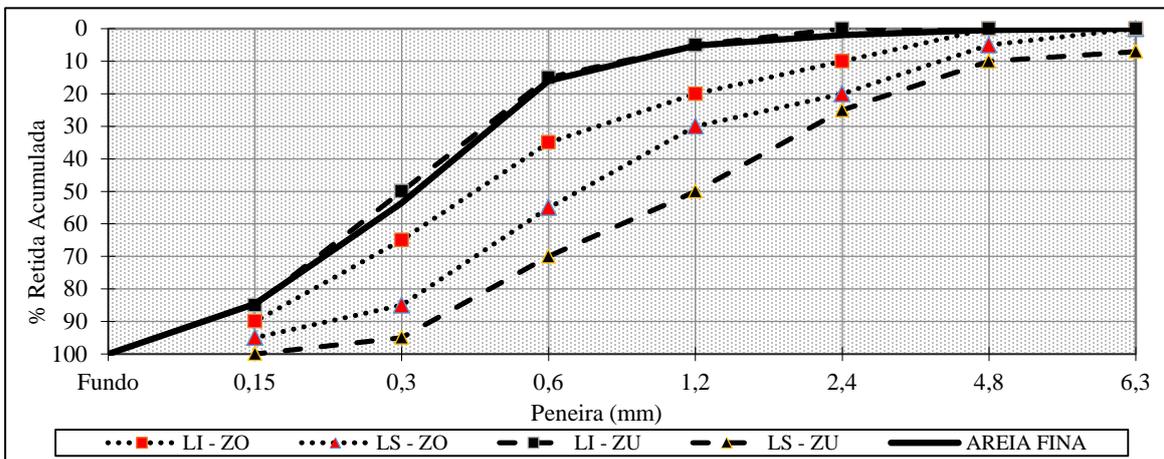


Figura 2: Distribuição granulométrica da areia fina.

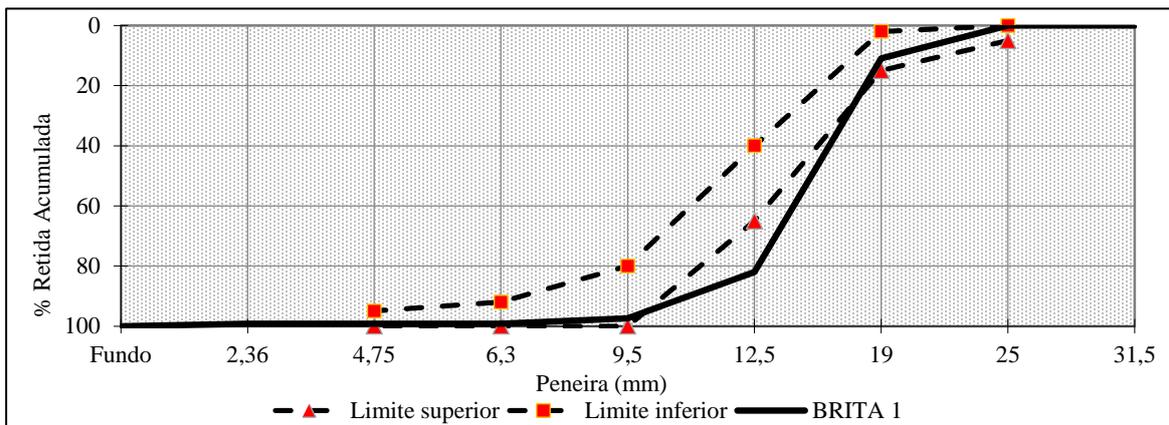


Figura 3: Distribuição granulométrica da brita 1.

### 3.2 Água de lavagem

A Tabela 4 apresenta os parâmetros obtidos na análise da água de lavagem. Observa-se que praticamente todos os parâmetros analisados atendem as normas utilizadas para comparação, exceto a quantidade de cloreto que ficou acima do estipulado na norma EN1008 [7]. A turbidez não é cobrada em nenhuma norma analisada.

**Tabela 4:** Resultados da água de lavagem x normas.

ÁGUA DE LAVAGEM			ASTM C94 [19]	EN 1008 [7]	NBR 15900 [20]	DIN 1008 [6]
PARÂMETRO	RESULTADO	EXPRESSÃO				
Cloreto	873	mg/l	<1000	<500	<1000	≤1000
pH	13,66	-	-	>4	≥5	≥4
Sólidos dissolvidos totais	3.764	mg/l	<50000	-	<50000	-
Sulfato	2.000	mg/l	<3000	<2000	<2000	≤2000
Turbidez	63.500	NTU	-	-	-	-

### 3.3 Resíduo de lavagem

#### 3.3.1 Massa unitária do resíduo de lavagem

A Tabela 5 mostra os resultados da massa unitária do resíduo de lavagem.

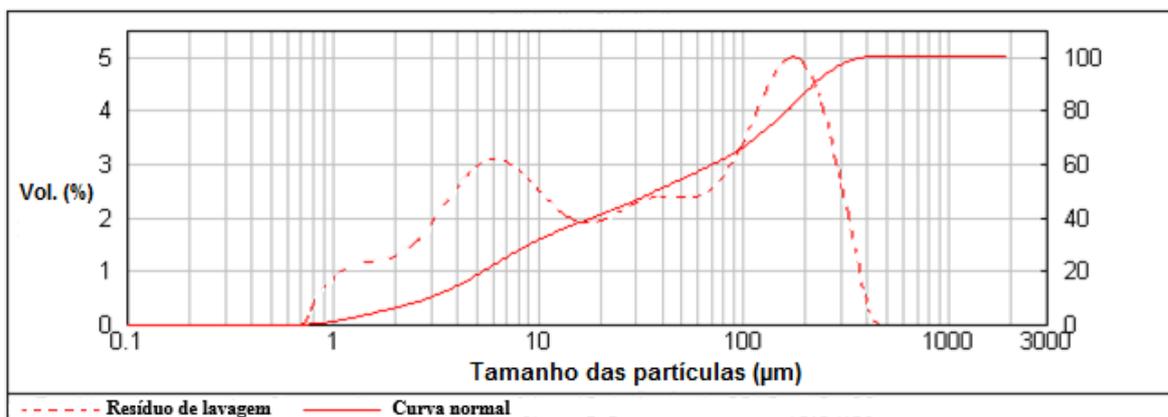
**Tabela 5:** Resultado da massa unitária (kg/m<sup>3</sup>) do resíduo de lavagem.

Métodos	MU – estado solto	MU – estado compactado
Método seco	761	910,7
Método úmido	1354,5	1359,3

Pelos resultados, pode-se observar que 56,2% do volume do resíduo de lavagem no estado solto é composto por água e 67% no estado compactado. Isso implica que se não houver controle do resíduo de lavagem no concreto, o fator água/cimento pode ser afetado e conseqüentemente a resistência à compressão.

#### 3.3.2 Distribuição granulométrica do resíduo de lavagem

A Figura 4 apresenta a distribuição granulométrica das partículas do resíduo de lavagem.



**Figura 4:** Distribuição granulométrica a laser do resíduo de lavagem.

Observa-se que as partículas dos resíduos de lavagem em maior proporção estão na ordem entre 1 e 10  $\mu\text{m}$ , pois elas são derivadas do cimento. As partículas estão hidratadas, não reagem e podem atuar como elemento inerte de preenchimento dos vazios.

### 3.4 Amostras de concreto

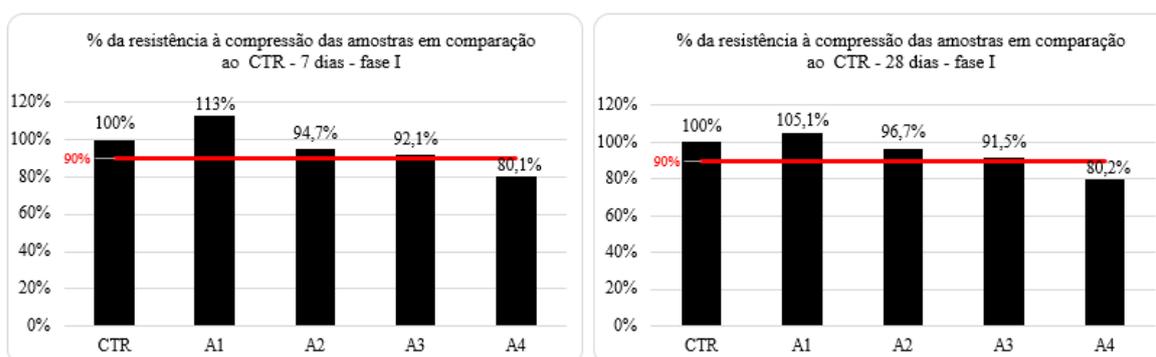
O abatimento foi medido respeitando-se a variação admissível em norma ASTM C143 [17]. As amostras A1, A2 e A3 apresentaram resultado superior a 90% em comparação ao resultado da resistência à compressão da amostra-controle (CTR) ASTM C94 [19]. A amostra A4 não apresentou resultado superior a 90% da resistência à compressão da amostra controle (CTR), devida à sua composição de 90% do cimento, além dos 10% do resíduo de lavagem, o qual não foi descontado nos ensaios e elevou o fator água/cimento, comprometendo a resistência à compressão.

A Tabela 6 mostra os resultados das amostras A1 a A4 – fase I aos 7 e 28 dias de cura.

**Tabela 6:** Resultado de rompimento das amostras de concreto.

Amostras	Concreto – estado fresco	Concreto - estado endurecido		% de resistência referente ao CTR 7 dias	% de resistência referente ao CTR 28 dias
	Abatimento (mm)	Resistência à compressão (MPa)	Resistência à compressão (MPa)		
		MÉDIA - 7 dias	MÉDIA - 28 dias		
CTR	120	29,3	35,69	100,0%	100,0%
A1	130	33,1	37,50	113,0%	105,1%
A2	135	27,7	34,51	94,7%	96,7%
A3	125	26,9	32,65	92,1%	91,5%
A4	135	23,4	28,62	80,1%	80,2%

A Figura 5 mostra o percentual da resistência média à compressão das amostras A1 a A4 – fase I aos 7 e 28 dias de cura, em comparação a 90% da resistência à compressão da amostra controle (CTR), conforme ASTM C94 [19] e NBR 15900 [20].



**Figura 5:** Porcentagem da resistência à compressão das amostras em comparação ao CTR de 7 e 28 dias de cura.

A resistência média à compressão das amostras AD1 a AD4 foram superiores a 90% da amostra de controle (CTR) aos 7 e 28 dias de idade conforme Figura 6. O aumento da resistência à compressão pode ser explicado pela presença do  $\text{CaOH}_2$  – hidróxido de cálcio e  $\text{NaOH}$  – hidróxido de sódio na água de lavagem, os quais aumentam a alcalinidade. Esse aumento acelera a hidratação do cimento e ativa a reação pozolânica de minerais aditivos (FA – cinza volante e GGBS – escória de alto forno). As partículas finas apresentadas na Figura 4 também preenchem os espaços vazios entre os grãos e melhoram o empacotamento e, conseqüentemente, a resistências à compressão.

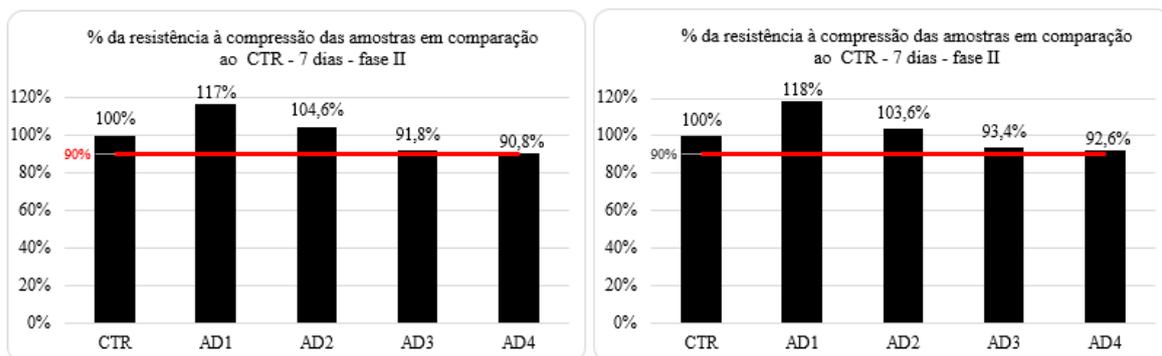
A Tabela 7 mostra os resultados das amostras de concreto decompostas aos 7 e 28 dias – fase II.

**Tabela 7:** Resultado do rompimento das amostras de concreto.

Amostras	Concreto – estado fresco	Concreto - estado endurecido		% de resistência referente ao CTR 7 dias	% de resistência referente ao CTR 28 dias
	Abatimento (mm)	Rompimento à compressão (MPa)	Rompimento à compressão (MPa)		
		MÉDIA - 7 dias	MÉDIA - 28 dias		
CTR	120	29,3	35,69	100%	100%
AD1	125	34,2	42,2	117%	118%
AD2	140	30,7	37,0	104,6%	103,6%
AD3	140	26,9	33,4	91,8%	93,4%
AD4	140	26,6	33,1	90,8%	92,6%

A Tabela 7 mostra o resultado do abatimento do concreto no estado fresco, o qual está de acordo com a norma EN 1008 [7] e NBR NM 67 [25]. As amostras AD1 a AD4 apresentaram resistência à compressão superior em comparação à amostra de controle (CTR), conforme ASTM C94 [19] e NBR 15900 [20].

A Figura 6 mostra o percentual da resistência média à compressão das amostras – fase II aos 7 e 28 dias de cura em comparação a 90% da resistência à compressão da amostra controle (CTR) conforme ASTM C94 [19] e NBR 15900 [20].



**Figura 6:** Porcentagem da resistência à compressão das amostras em comparação ao CTR de 7 e 28 dias de cura.

## 4. DISCUSSÃO

### 4.1 Fluorescência de raio x do resíduo de lavagem

A Tabela 8 mostra a composição química em percentual para cada elemento.

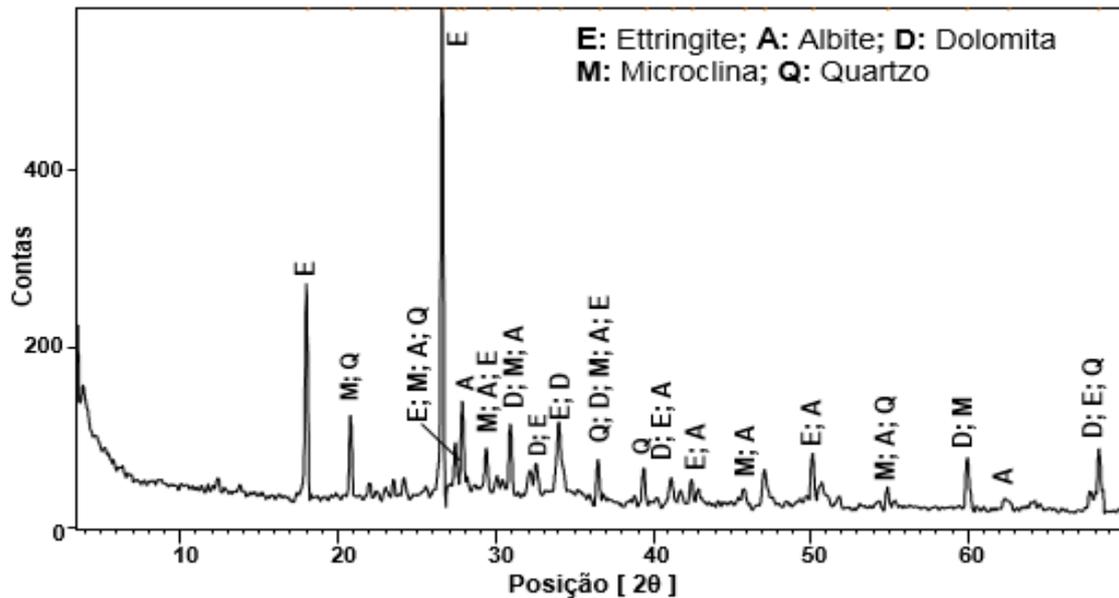
**Tabela 8:** Fluorescência por raio x do resíduo de lavagem.

Elementos	CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	K <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	SrO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MnO	ZrO <sub>2</sub>	NiO <	ZnO <	P.F.
% - resíduos de lavagem	38,3	33,7	7,8	3,6	2,8	1,5	1,4	0,6	0,5	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	9,3

Nota-se que, uma parcela considerável do cimento está presente no resíduo de lavagem retornado ou disperso em água decantada, o qual já está hidratado, pois, observa-se que os elementos químicos e seus percentuais que aparecem no método de FRX, tabela 7, são aqueles que constituem o cimento.

### 4.2 Difração de raio x dos resíduos de lavagem

A Figura 7 mostra os picos dos elementos, que permite determinar a composição mineralógica dos resíduos de lavagem.



**Figura 7:** Composição mineralógica por meio de método de DRX.

Os minerais mostrados na figura 7 são típicos do concreto: Albite ( $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ ), microclina ( $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ ), quartzo ( $\text{SiO}_2$ ), ettringite ( $\text{Ca}_6\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3(\text{OH})_{12} \cdot 26\text{H}_2\text{O}$ ), dolomita ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ) e quartzo ( $\text{SiO}_2$ ).

## 5. CONCLUSÕES

Com relação à resistência à compressão do concreto preparado a partir do reuso da água e resíduo da lavagem dos caminhões betoneiras, considerando um traço padrão de concreto usinado de 30 MPa, concluiu-se que a água de lavagem não afeta a resistência à compressão do concreto e os resíduos de lavagem, se utilizados na dosagem adotada, conforme mostrado neste trabalho, também não afetam a resistência à compressão do concreto. A água e os resíduos da lavagem dos caminhões betoneiras foram caracterizados e observou-se que minerais observados nos resíduos de lavagem são os mesmos encontrados no cimento.

No que se refere as análises de fluorescência por raio x nos resíduos de concreto, observou-se o mesmo resultado, ou seja, os constituintes são apenas aqueles típicos do cimento. Nas análises de difração de raio x não houve síntese de novos minerais. Os minerais encontrados são típicos do concreto, como Albite ( $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ ), microclina ( $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ ), quartzo ( $\text{SiO}_2$ ), ettringite ( $\text{Ca}_6\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3(\text{OH})_{12} \cdot 26\text{H}_2\text{O}$ ), dolomita ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ) e quartzo ( $\text{SiO}_2$ ).

Em relação às partículas dos resíduos de lavagem em maior proporção, as que estão entre 1 e 10  $\mu\text{m}$ , são derivadas do cimento, elas estão hidratadas, não reagem e podem atuar como elemento inerte de preenchimento dos vazios, o que melhora o empacotamento e consequentemente a resistência à compressão.

Foi analisada a resistência à compressão das amostras de concreto deste trabalho e conclui-se que as amostras que não atingiram resistência superior a 90% da amostra controle foram aquelas que continham 90% de cimento ou excesso de água nos resíduos de lavagem. No que se refere ao aumento da resistência à compressão nas amostras de concreto, esta pode ser explicada pela presença do  $\text{CaOH}_2$  – hidróxido de cálcio e  $\text{NaOH}$  – hidróxido de sódio na água de lavagem, os quais aumentaram a alcalinidade. O aumento da alcalinidade acelera a hidratação do cimento e ativa a reação pozolânica de minerais aditivos (FA – cinza volante e GGBS – escória de alto forno).

## 6. AGRADECIMENTOS

Agradeço a empresa na qual trabalho por fornecer o espaço do laboratório para realizar os ensaios, os materiais das amostras, os equipamentos e o apoio técnico para realização dos ensaios.

## 7. BIBLIOGRAFIA

- [1] SANDROLINI, F., FRANZONI, E., “Waste wash water recycling in ready-mixed concrete plants”, *Cement and Concrete Research*, 31, pp. 485-489, 2000.
- [2] TSIMAS, S., ZERVAKI, M., “Reuse of waste water from ready-mixed concrete plants. Management of Environmental Quality”, *An International Journal*, v. 22, n. 1, pp. 7-17, 2011.
- [3] LOW G.L., NG K.Y., NG W.L., TAM C.T., HENG R.B.W., “Use of recycled cement-based slurry water for making concrete”, *Journal - The Institution of Engineers*, Malaysia, v. 68, n. 4, December 2007.
- [4] SU N., MIAO B., LIU S.F., “Effect of wash water and underground water on properties of concrete”, *Cement and Concrete Research*, v. 32, pp. 777-782, 2002.
- [5] NAZARI A., RIAHI SHADI, RIAHI SSHIRIN, SHAMEKHI F.S, KHADEMNO A., “An investigation on the Strength and workability of cement based concrete performance by using ZrO<sub>2</sub> nanoparticles”, *Journal of American Science: Department of Technical and Engineering Sciences*, Islamic Azad University (Saveh Branch), Felestin Sq., Saveh, Islamic Republic of Iran., v.6, n.4, 2010.
- [6] DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG, DIN 1008, Zugabewasser für Beton – Festlegung für die Probenahme, prüfung und beurteilung der Eignung von Wasser, einschließlich bei der Betonherstellung anfallendem Wasser, als Zugabewasser für Beton, Deutsche Fassung, 2002.
- [7] EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION, EN 1008, Mixing water for concrete – specification for sampling, testing and assessing the suitability of water, including water recovered from processes in the concrete industry, as mixing water for concrete, Brussels, 2002.
- [8] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, ASTM C94, Standard specification for ready-mix concrete, West Conshohocken, PA., 2004.
- [9] MYMRIN, V.A., WALTRICK, C., CERRI, J.A., “Mechanical strength and analyses of new construction materials on the base of plaster waste and Debris”, *Archiv EuroEco*, pp.2193-3731, v.2, n. 1, 2012.
- [10] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, ASTM C150, Standard specification for Portland cement, Philadelphia, 2007.
- [11] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, ASTM C188, Standard test method for density of hydraulic cement, Philadelphia, 1988.
- [12] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, ASTM C136, Standard test method for sieve analysis of fine and coarse aggregates, Philadelphia, 2006.
- [13] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, ASTM C128, Standard test method for density, relative density (specific gravity), and absorption of fine aggregate, Philadelphia, 2006.
- [14] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, ASTM C1602, Standard specification for mixing water used in the production of hydraulic cement concrete, 2012.
- [15] AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, APHA, AWWA, WEF, Standard methods for examination of water and wastewater, Washington, 2012.
- [16] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, ASTM C39, Standard test method for compressive strength of cylindrical concrete specimens, Philadelphia, 2006.
- [17] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, ASTM C143, Standard test method for slump of hydraulic cement concrete, Philadelphia, 2005.
- [18] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, ASTM C192, Standard practice for making and curing concrete test specimens in the laboratory, Philadelphia, 2006.
- [19] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, ASTM C94, Standard specification for ready-mixed concrete, Philadelphia, 2002.
- [20] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15900-1: Água para amassamento do concreto parte 1: Requisitos. Rio de Janeiro, 2009.
- [21] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 45: Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.
- [22] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 52: Agregado miúdo Determinação de massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009.
- [23] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 53: Agregado graúdo – determinação da massa específica, massa aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2009.

[24] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 248: Agregados – determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

[25] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 67: Concreto – Determinação de consistência pelo abatimento do tronco cone. Rio de Janeiro, 1998.