

# Defesa Final de Dissertação do Mestrado Profissional em Materiais



## PRODUÇÃO DE PAVER A PARTIR DO COMPÓSITO DE CONCRETO COM REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS GERADOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

**Mestrando: Carlos Rogério O. Coutinho**

**Banca Examinadora:**

<b>Presidente:</b>	<b>Prof. Dr. Ricardo de Freitas Cabral.</b>
<b>Titular Interno:</b>	<b>Prof. Dr. Sergio Roberto Montoro.</b>
<b>Titular Externo:</b>	<b>Prof. Dr. Rubens Lincoln S. B. Blazutti.</b>
<b>Suplente Interno:</b>	<b>Prof. Dr. Bruno Chamboli Gambarato.</b>
<b>Suplente Externo:</b>	<b>Prof. Dr. Rodrigo Felix de A. Cardoso.</b>

# SUMÁRIO:

1. INTRODUÇÃO

2. OBJETIVO

3. JUSTIFICATIVA

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

5. MATERIAIS E MÉTODOS

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

7. CONCLUSÕES

8. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

**O desenvolvimento sustentável se tornou uma grande preocupação para a Indústria de Construção Civil, uma vez que, o setor é responsável pelo consumo de uma grande quantidade de recursos naturais e por grande parte dos impactos ambientais devido às suas atividades.**

**Presume-se que são geradas cerca de 2 a 3 bilhões de toneladas de entulho de obra por ano em todo o mundo.**

**No Brasil, as estimativas pontuais mostram uma geração de 220 a 670 quilos de entulho de obra por habitante.**

**Uma das alternativas promissoras para diminuição dos impactos ambientais gerados pela construção civil é o uso de concreto reciclado.**

**O presente trabalho teve como objetivo produzir o paver a partir do compósito de concreto oriundo da reciclagem dos resíduos sólidos (RCD).**

**Para a análise da viabilidade, teve como objetivos principais:**

- ✓ **Desenvolver e caracterizar o paver com agregados reciclados;**
- ✓ **Avaliar as alterações nas propriedades do concreto em estado fresco (trabalhabilidade);**
- ✓ **Avaliar as alterações nas propriedades físicas do concreto endurecido. (Resistência mecânica, índice de vazios, teor de absorção e massa específica).**

**Com a crescente necessidade de tornar as atividades econômicas cada vez mais sustentáveis e proporcionar maior reaproveitamento de materiais oriundos de processos construtivos, o presente projeto vem como uma possível alternativa para suprir essas necessidades dentro da problemática do desperdício na construção civil.**

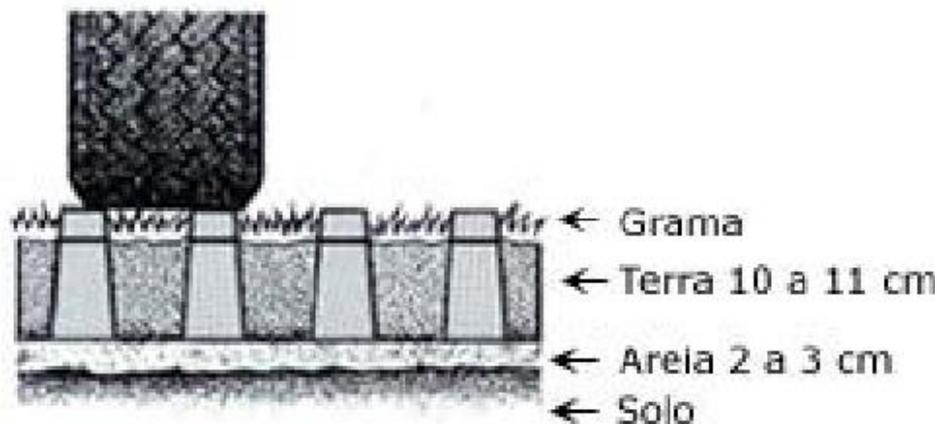
**A indústria da construção civil tem sido responsável pelo consumo de 20% dos recursos naturais extraídos.**

**A utilização de resíduos reciclados como substituição das matérias primas pode reduzir a quantidade dessa extração, substituindo em grande parte, os agregados naturais empregados em concretos para pavimentação.**

**Os pavimentos intertravados são compostos por peças pré-moldadas de concreto e constituem eficaz solução para uso em ruas, calçadas, calçadões e praças.**



**O emprego de peças furadas é ecologicamente correto, pois os furos permitem o retorno das águas de chuva para o solo, evitando sua perda com o escoamento.**



**Quando pigmentados favorecem  
marcações permanentes em  
estacionamentos, em cruzamentos e outras  
áreas que necessitam de identificação.**

**Possuem manutenção simplificada, pois  
as peças do pavimento são recolocadas nos  
seus locais originais.**

## MATERIAIS

### Aglomerante

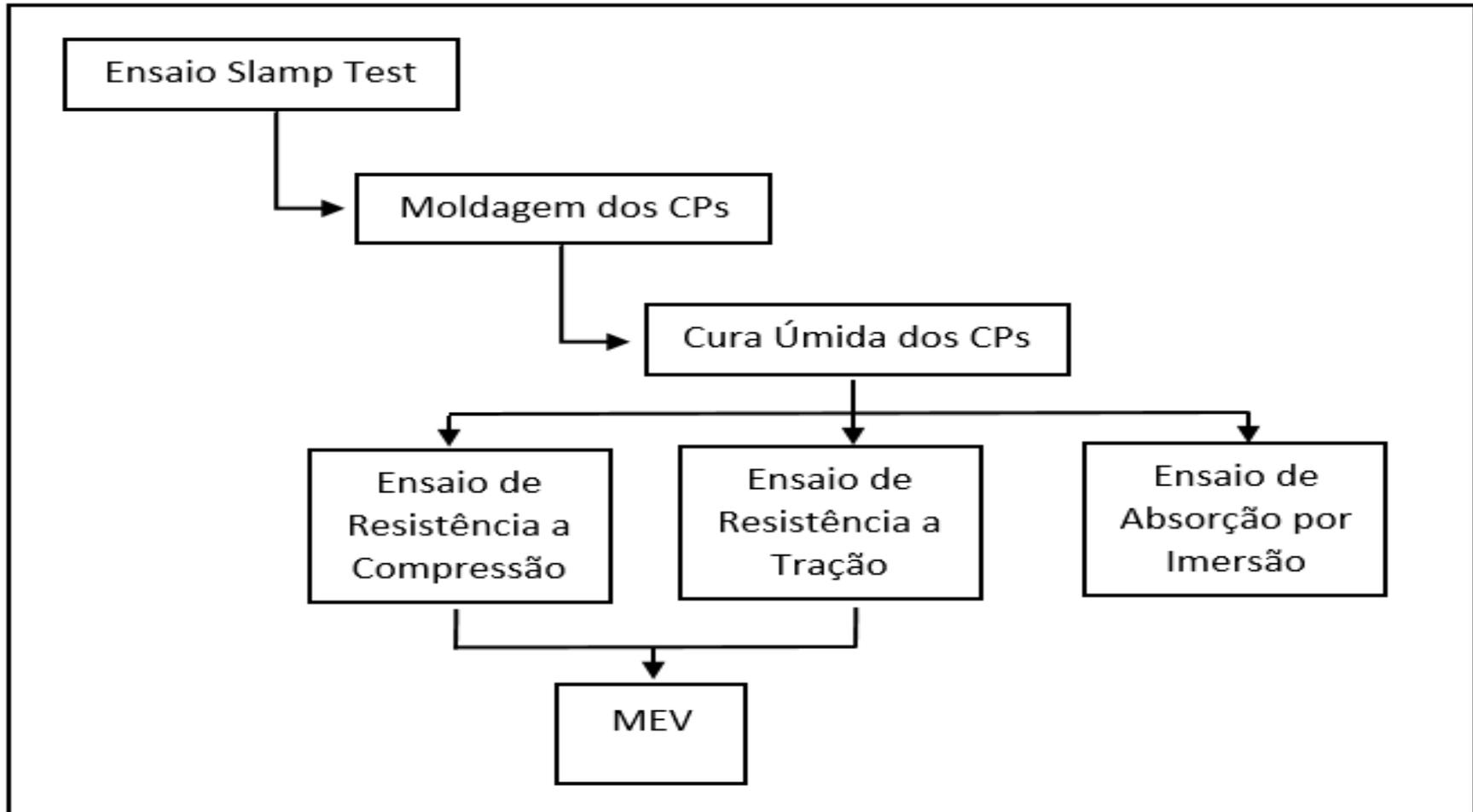
- ✓ **Cimento CP II E 32, marca Alvorada.**

## MATERIAIS

### Agregados

- ✓ **Agregado Miúdo Natural;**
- ✓ **Agregado Graúdo Natural;**
- ✓ **Agregado Graúdo Reciclado;**
- ✓ **Água.**

## Fluxograma do método aplicado.



**Para o desenvolvimento deste projeto, foram realizadas avaliações nas propriedades físicas e mecânicas do concreto tendo como agregado graúdo, RCD.**

**Todos os testes tiveram como comparação as propriedades de corpos de provas feitos com agregado natural.**

## COMPOSIÇÃO DOS TRAÇOS

**O traço adotado foi 1: 2: 3 - (35 Mpa Slump 10 +- 2)**

- ✓ **Uma parte de cimento;**
- ✓ **Duas partes de agregado miúdo;**
- ✓ **Três partes de agregado graúdo.**

**Sem adição de aditivo, na forma convencional.**

## COMPOSIÇÃO DOS TRAÇOS

**Os traços foram realizados nas seguintes composições.**

- ✓ **100% Natural;**
- ✓ **Adição de 40% RCD;**
- ✓ **Adição de 60% RCD;**
- ✓ **Adição de 100% RCD.**

## COMPOSIÇÃO DOS TRAÇOS

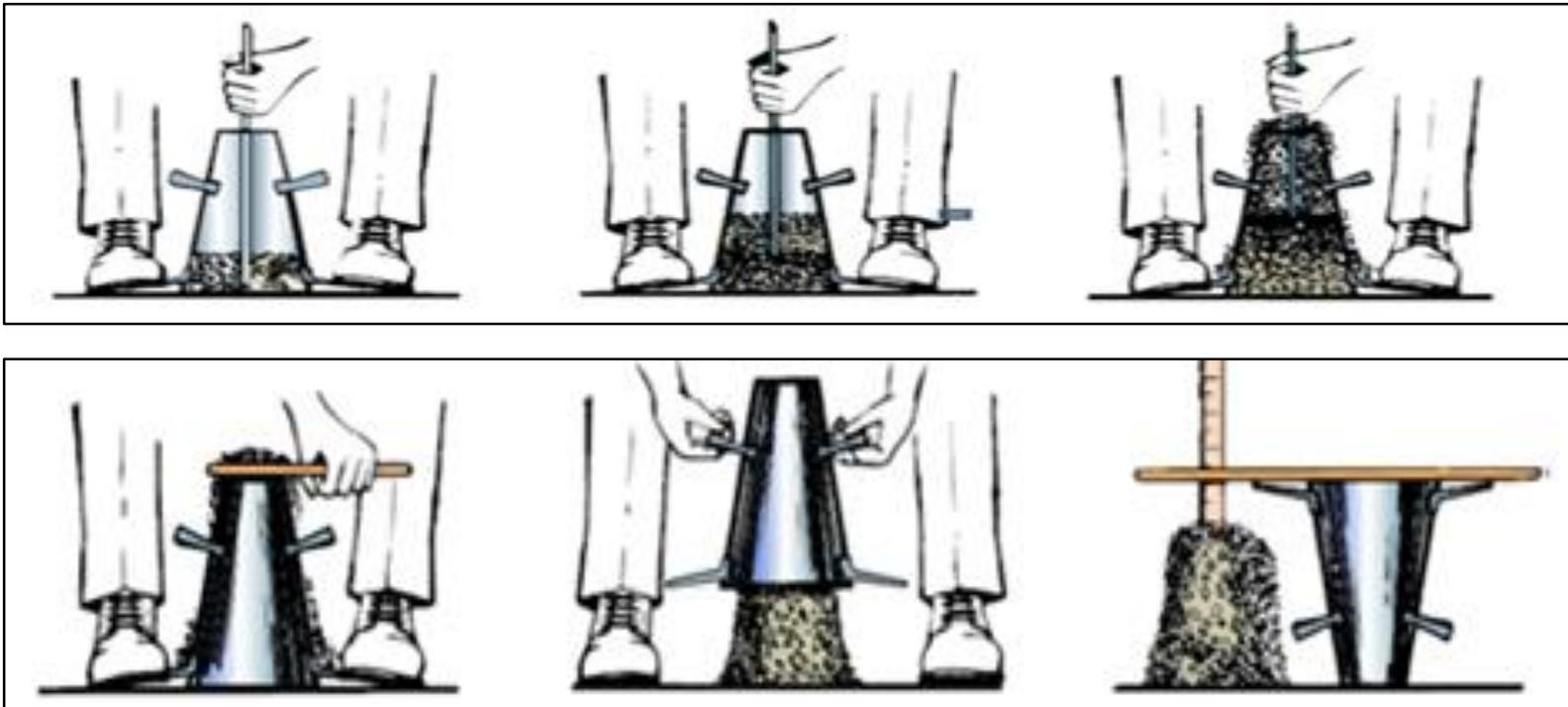
**A realização das misturas dos materiais para a produção do concreto seguiu a ordem.**

- ✓ **Primeiro foi colocado o agregado graúdo;**
- ✓ **Em segundo o aglomerante (cimento);**
- ✓ **Seguindo com adição da água;**
- ✓ **Final o agregado miúdo.**

**O traço de concreto foi realizado em betoneira marca Monegoti, modelo Premium capacidade de 150 litros.**

## Ensaio de Slanp Test

Esse teste demonstra o efeito direto da resistência à compressão do concreto e sua relação água cimento.



## Moldagem

**A moldagem foi feita com duas camadas de alturas aproximadamente iguais, recebendo cada camada 30 golpes uniformes utilizando o soquete**



## Moldagem

Foram moldados para cada traço de concreto.

- ✓ 4 corpos de prova para a idade de 7, 14 e 28 dias para o ensaio de resistência a compressão;
- ✓ 4 corpos de prova para a idade de 28 dias para ensaio de resistência a tração;
- ✓ 3 corpos de prova para a idade de 28 dias para ensaio de absorção.

**Totalizando 76 corpos de prova.**

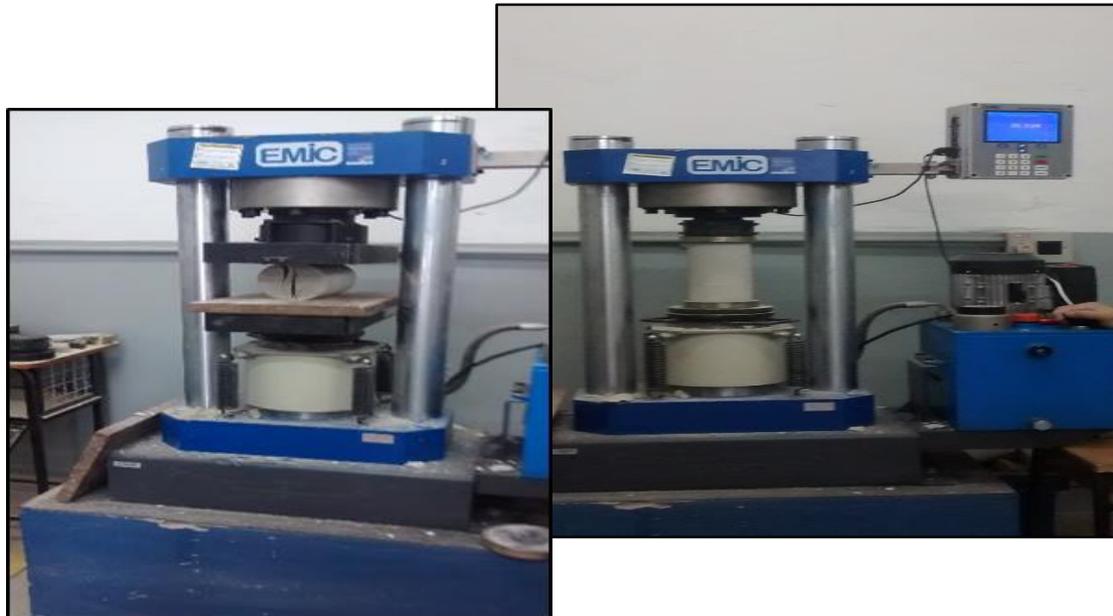
## Cura

**A cura dos corpos de prova foi feita ao ar, nas primeiras 24 horas. Após a desforma, os corpos de prova foram identificados e armazenados em um tanque de água saturada de cal até a idade de cura.**



## Ensaio de Resistência à Compressão e Tração

O ensaio foi realizado em uma prensa hidráulica de acionamento elétrico marca EMIC e modelo PCE 100 C, capacidade 100 tf (100.000 kgf). Instalada no laboratório da engenharia civil do UniFOA.



## Ensaio de Resistência à Compressão e Tração

O corpo de prova foi submetido a uma prensa hidráulica de carga contínua e sem choque e com acréscimo constante de tensão a uma velocidade de  $(0,05 \pm 0.02)$  MPa/s até a ruptura do mesmo.



## Absorção por Imersão

O ensaio foi realizado em uma estufa da marca Odontobrás, modelo EL 15 com potência de 1100W e uma balança da marca Welmy, modelo W6 com capacidade de 8 kg. Instaladas no laboratório da engenharia civil do UniFOA.

▪



## Microscopia

**As micrografias foram obtidas em um microscópio eletrônico de varredura HITACHI TM 3.000, disponível no laboratório do UniFoa Volta Redonda - RJ**



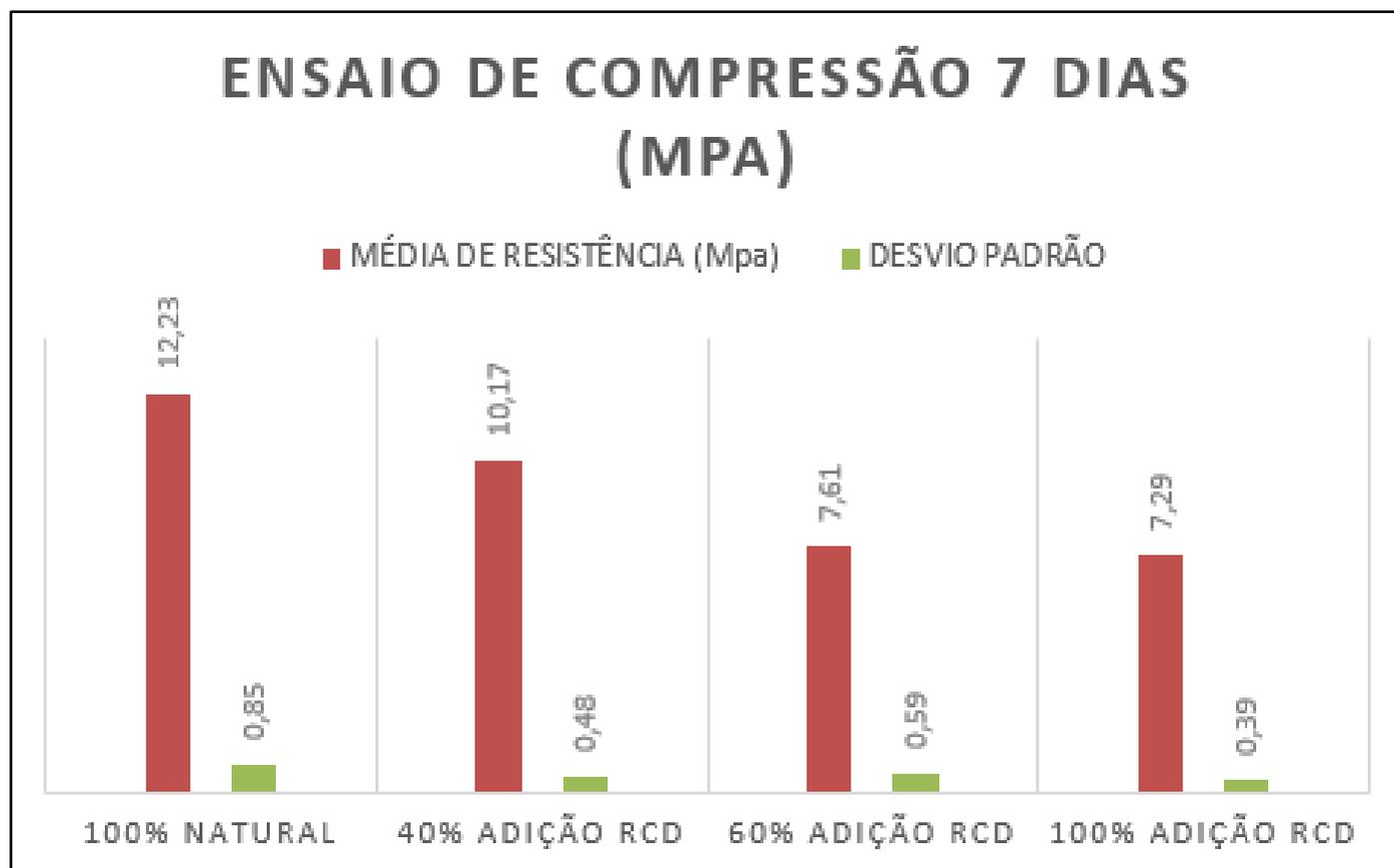
## RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Ensaio de Compressão para Idade de 7 dias.

ENSAIO DE COMPRESSÃO					
TRAÇO	CORPO DE PROVA	IDADE	RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO (MPa)	MÉDIA DE RESISTÊNCIA (Mpa)	DESVIO PADRÃO
100% NATURAL	1	7 DIAS	12,26	12,23	0,85
	2	7 DIAS	13,46		
	3	7 DIAS	11,32		
	4	7 DIAS	11,89		
40% ADIÇÃO RCD	1	7 DIAS	10,37	10,17	0,48
	2	7 DIAS	11,05		
	3	7 DIAS	9,93		
	4	7 DIAS	9,31		
60% ADIÇÃO RCD	1	7 DIAS	8,25	7,61	0,59
	2	7 DIAS	7,42		
	3	7 DIAS	7,79		
	4	7 DIAS	6,98		
100% ADIÇÃO RCD	1	7 DIAS	6,93	7,29	0,39
	2	7 DIAS	6,38		
	3	7 DIAS	7,72		
	4	7 DIAS	8,12		

## RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Ensaio de Compressão para Idade de 7 dias.



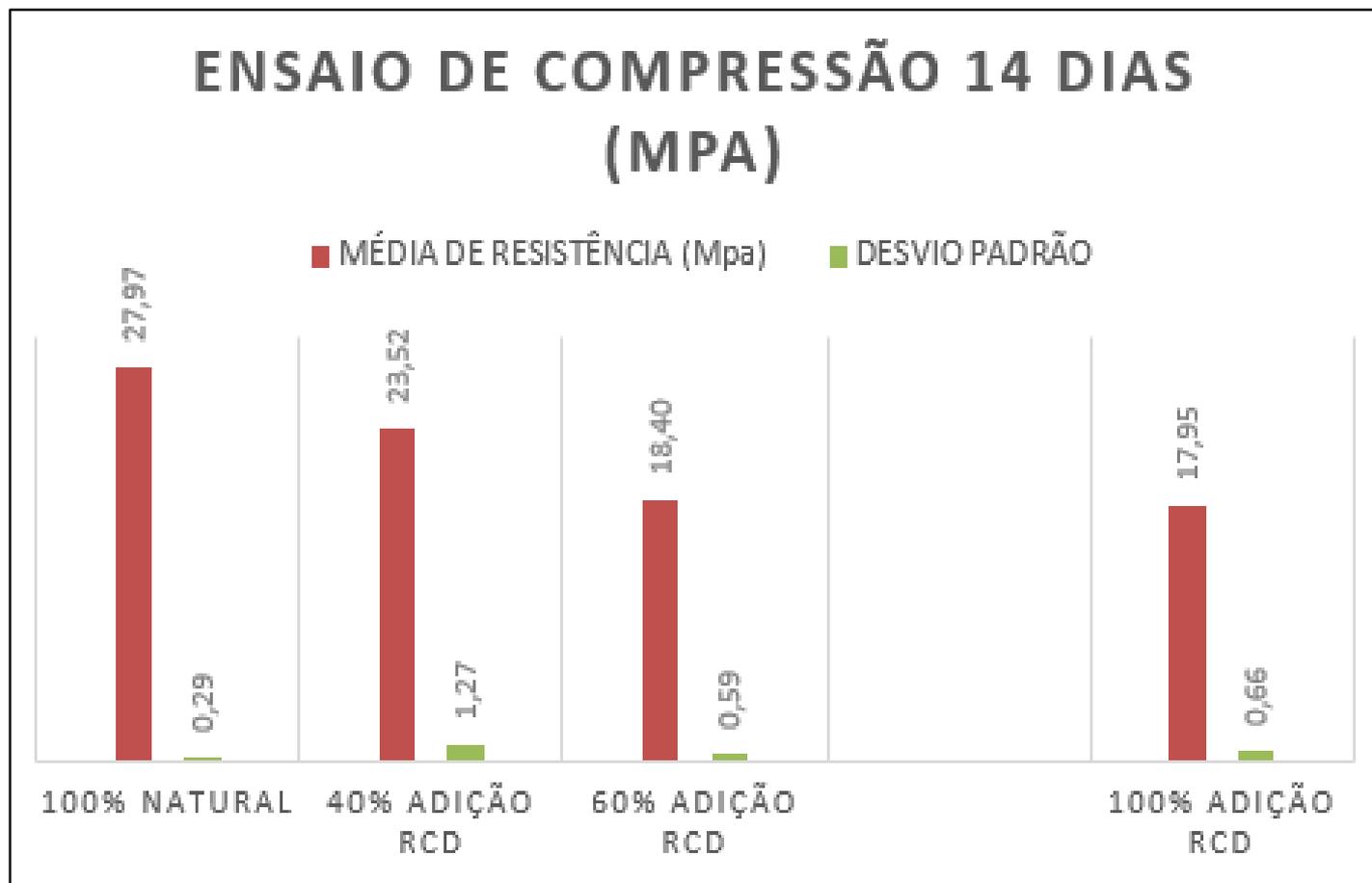
## RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

**Ensaio de Compressão para Idade de 14 dias.**

ENSAIO DE COMPRESSÃO					
TRAÇO	CORPO DE PROVA	IDADE	RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO (MPa)	MÉDIA DE RESISTÊNCIA (Mpa)	DESVIO PADRÃO
100% NATURAL	1	14 DIAS	28,33	27,97	0,29
	2	14 DIAS	27,92		
	3	14 DIAS	28,71		
	4	14 DIAS	26,91		
40% ADIÇÃO RCD	1	14 DIAS	23,13	23,52	1,27
	2	14 DIAS	24,92		
	3	14 DIAS	22,6		
	4	14 DIAS	23,43		
60% ADIÇÃO RCD	1	14 DIAS	18,38	18,40	0,59
	2	14 DIAS	17,54		
	3	14 DIAS	19,75		
	4	14 DIAS	17,92		
100% ADIÇÃO RCD	1	14 DIAS	17,85	17,95	0,66
	2	14 DIAS	16,91		
	3	14 DIAS	18,34		
	4	14 DIAS	18,71		

## RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Ensaio de Compressão para Idade de 14 dias.



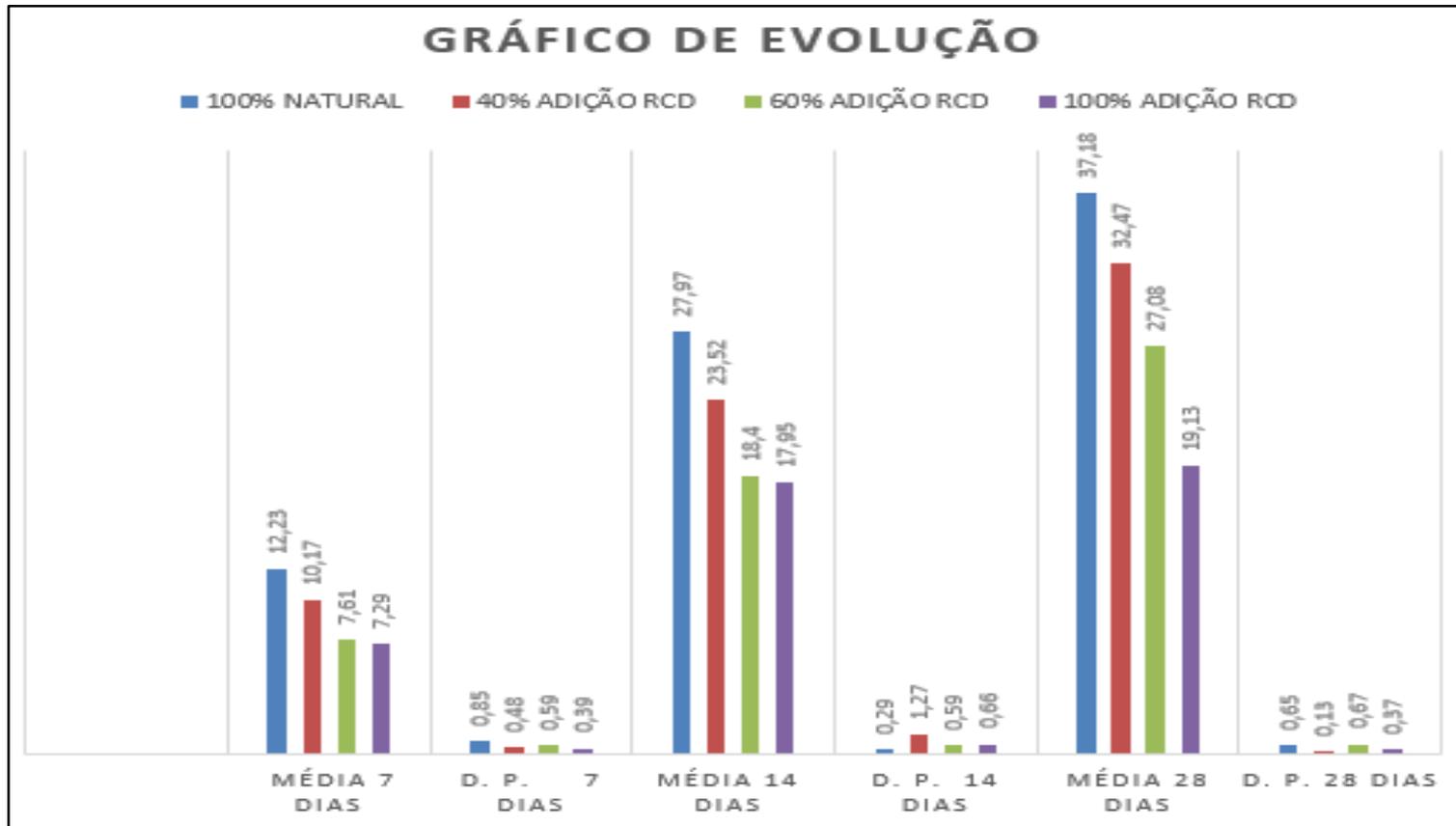
## RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Ensaio de Compressão para Idade de 28 dias.

ENSAIO DE COMPRESSÃO					
TRAÇO	CORPO DE PROVA	IDADE	RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO (MPa)	MÉDIA DE RESISTÊNCIA (Mpa)	DESVIO PADRÃO
100% NATURAL	1	28 DIAS	37,41	37,18	0,65
	2	28 DIAS	38,33		
	3	28 DIAS	36,11		
	4	28 DIAS	36,85		
40% ADIÇÃO RCD	1	28 DIAS	32,93	32,47	0,13
	2	28 DIAS	33,12		
	3	28 DIAS	32,63		
	4	28 DIAS	31,18		
60% ADIÇÃO RCD	1	28 DIAS	26,16	27,08	0,67
	2	28 DIAS	27,11		
	3	28 DIAS	26,73		
	4	28 DIAS	28,33		
100% ADIÇÃO RCD	1	28 DIAS	19,47	19,13	0,37
	2	28 DIAS	18,95		
	3	28 DIAS	19,77		
	4	28 DIAS	18,34		

## RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Ensaio de Compressão para Idade de 28 dias.



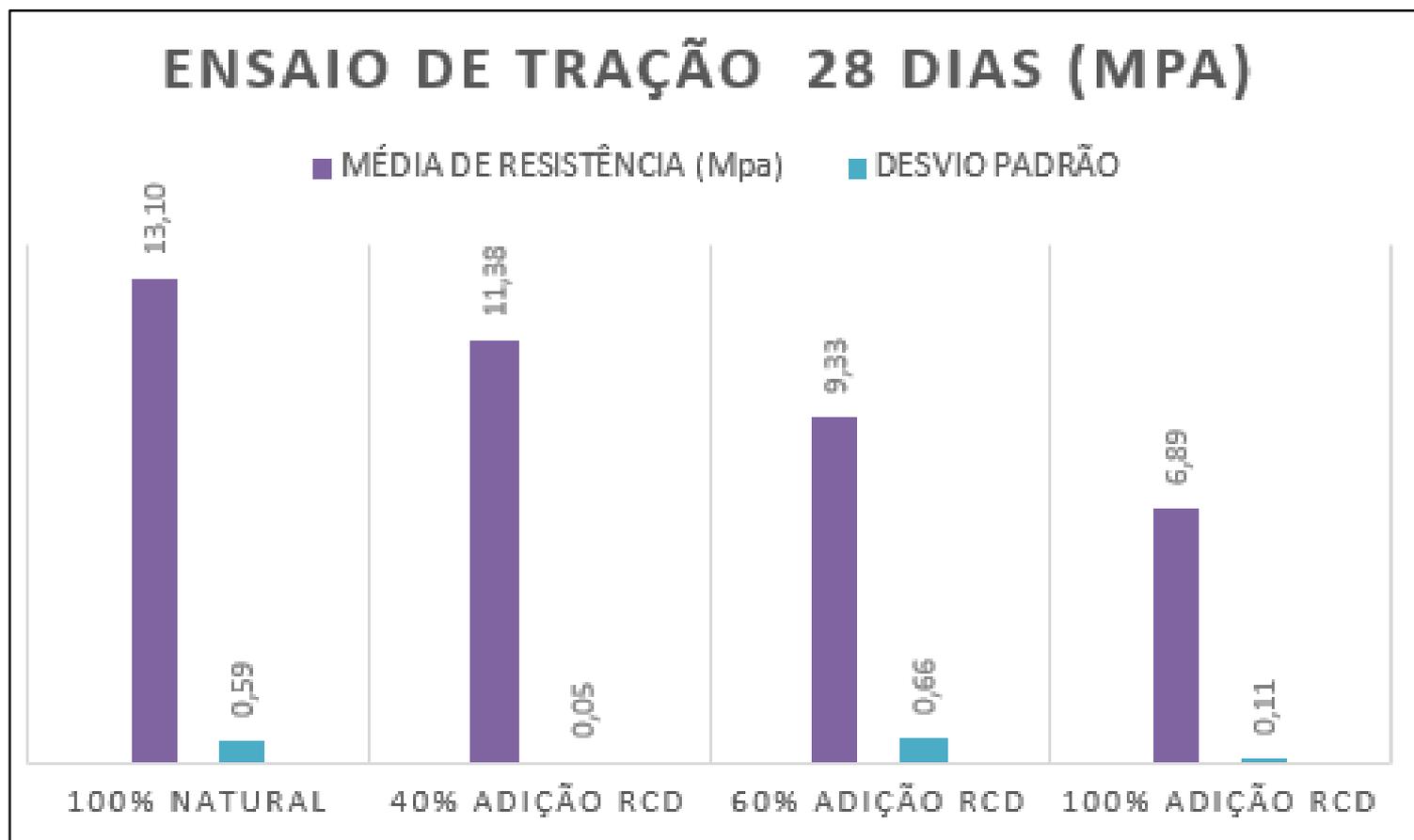
## RESISTÊNCIA À TRAÇÃO

Ensaio de Tração para Idade de 28 dias.

ENSAIO DE TRAÇÃO					
TRAÇO	CORPO DE PROVA	IDADE	RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO (MPa)	MÉDIA DE RESISTÊNCIA (Mpa)	DESVIO PADRÃO
100% NATURAL	1	28 DIAS	13,13	13,10	0,59
	2		13,96		
	3		12,38		
	4		12,94		
40% ADIÇÃO RCD	1	28 DIAS	11,56	11,38	0,05
	2		11,63		
	3		11,46		
	4		10,88		
60% ADIÇÃO RCD	1	28 DIAS	9,18	9,33	0,66
	2		10,11		
	3		9,03		
	4		8,98		
100% ADIÇÃO RCD	1	28 DIAS	6,84	6,89	0,11
	2		6,68		
	3		6,94		
	4		7,09		

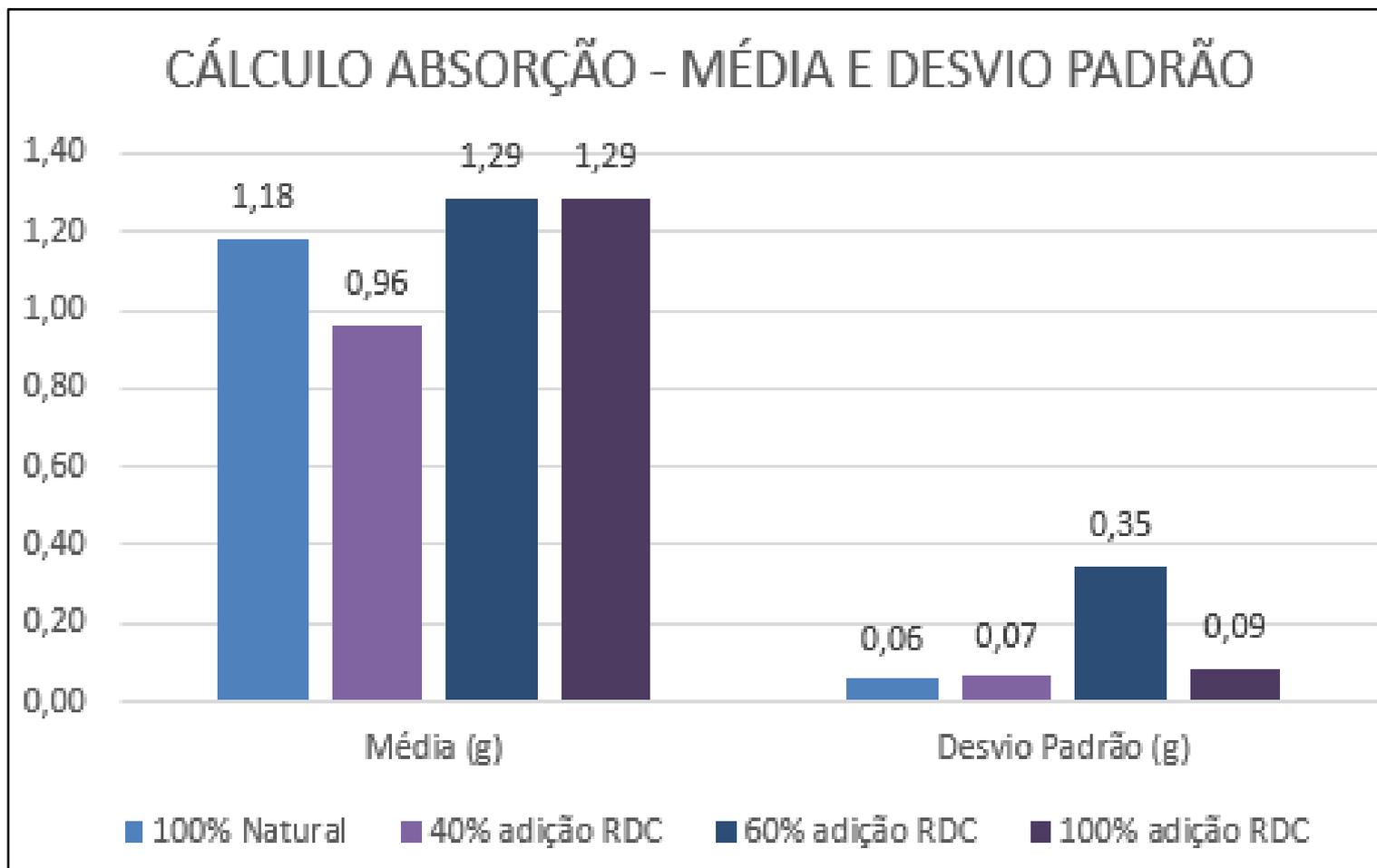
## RESISTÊNCIA À TRAÇÃO

Ensaio de Tração para Idade de 28 dias.



## ABSORÇÃO POR IMERSÃO

ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA												
	CP	Idade	Massa Inicial (g)	ESTUFA			IMERSÃO			Calculo absorção por Imersão	Média (g)	Desvio Padrão (g)
				24 hs (g)	48 hs (g)	72 hs (g)	24 hs (g)	48 hs (g)	72 hs (g)			
100% Natural	1	28 dias	449,67	446,54	445,98	445,23	449,75	450,08	450,35	1,14	1,18	0,06
	2		444,23	441,97	440,63	440,41	444,83	445,35	445,97	1,25		
	3		452,78	449,78	448,12	448,07	451,97	452,94	453,36	1,17		
40% adição RDC	1	28 dias	438,54	435,99	435,21	435,05	437,85	438,93	439,05	0,91	0,96	0,07
	2		442,76	439,71	438,95	438,34	441,86	442,58	442,93	1,04		
	3		441,29	438,44	437,93	437,47	440,48	441,02	441,61	0,94		
60% adição RDC	1	28 dias	440,65	437,96	437,18	437,03	439,87	440,58	441,15	0,93	1,29	0,35
	2		442,65	438,59	438,08	437,94	440,37	442,76	445,19	1,63		
	3		440,23	437,63	437,07	436,84	439,32	440,84	442,58	1,30		
100% adição RDC	1	28 dias	438,98	435,74	434,99	434,38	438,48	439,64	440,17	1,32	1,29	0,09
	2		440,21	437,22	436,48	436,04	439,33	440,95	442,04	1,36		
	3		441,56	438,73	438,02	437,86	440,46	441,83	443,13	1,19		



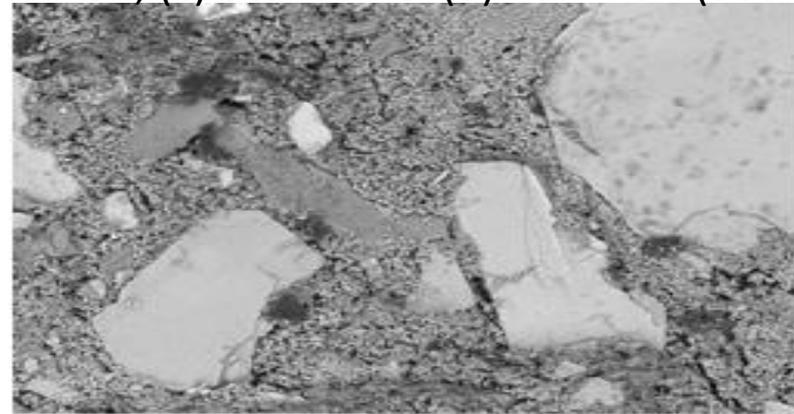
## MICROSCOPIA

## Ampliações 300x

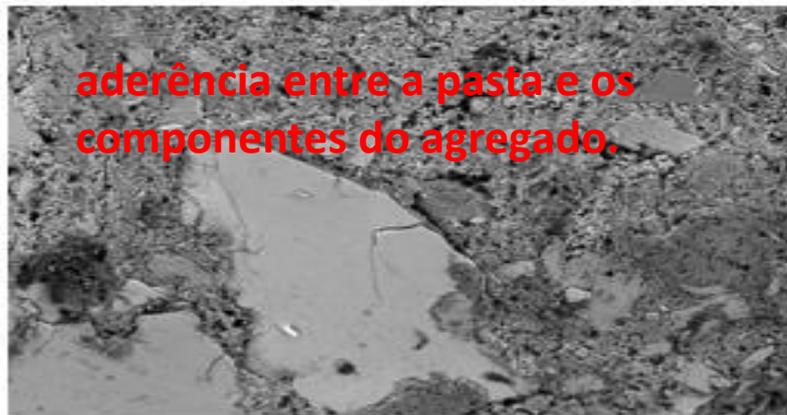
MEV 28 dias (a) 100% natural, (b) 100%RCD, (c) 60%RCD e (d) 40% RCD (300x).



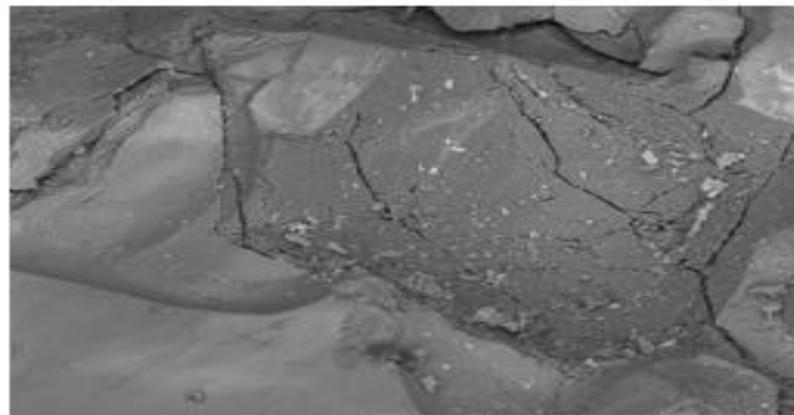
28 d100% N 2016/10/11 N D6.0 x300 300 um



28 d100% R 2016/10/11 N D5.7 x300 300 um (b)



28 d60% R 2016/10/11 N D4.9 x300 300 um

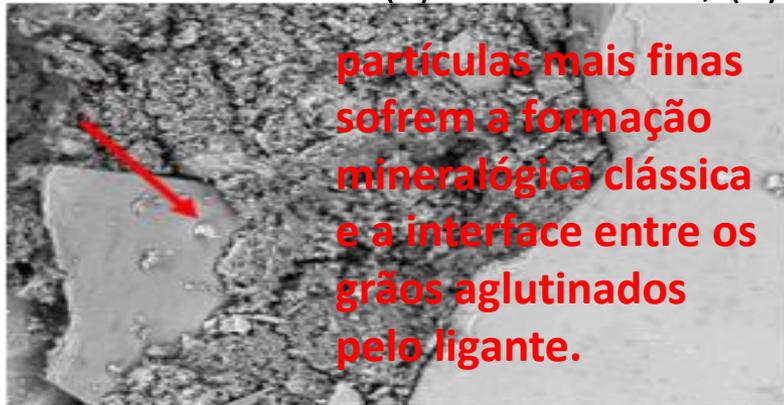


28 d40% R 2016/10/11 N D8.7 x300 300 um (d)

## MICROSCOPIA

## Ampliações 500x

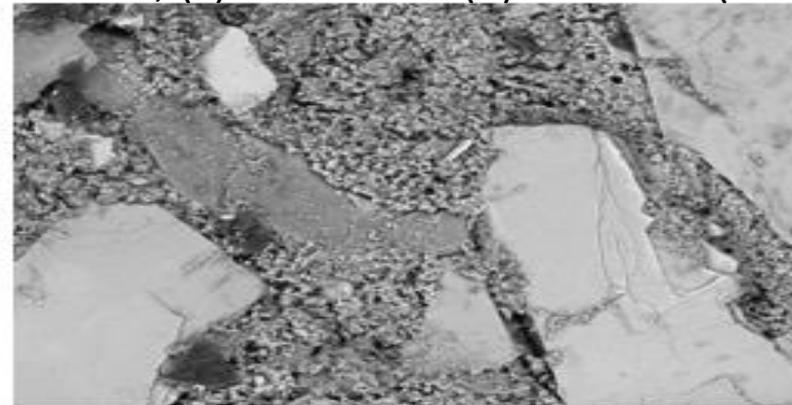
MEV 28 dias (a) 100% natural, (b) 100%RCD, (c) 60%RCD e (d) 40% RCD (500x).



partículas mais finas  
sofrem a formação  
mineralógica clássica  
e a interface entre os  
grãos aglutinados  
pelo ligante.

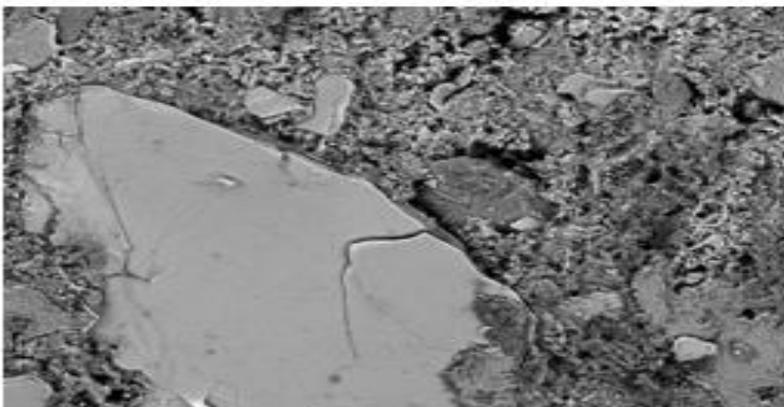
28 d100% N 2016/10/11 N D5.9 x500 200 um

(a)



28 d100% R 2016/10/11 N D5.7 x500 200 um

(b)



28 d60% R 2016/10/11 N D5.0 x500 200 um

(c)



mostram micro trincas na  
argamassa de cimento

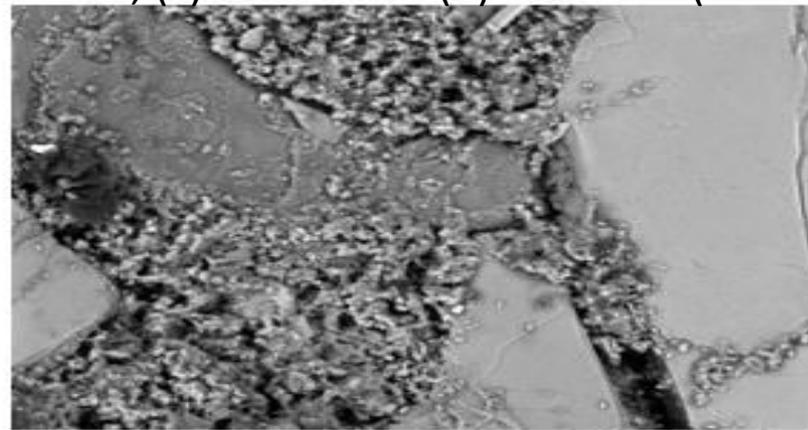
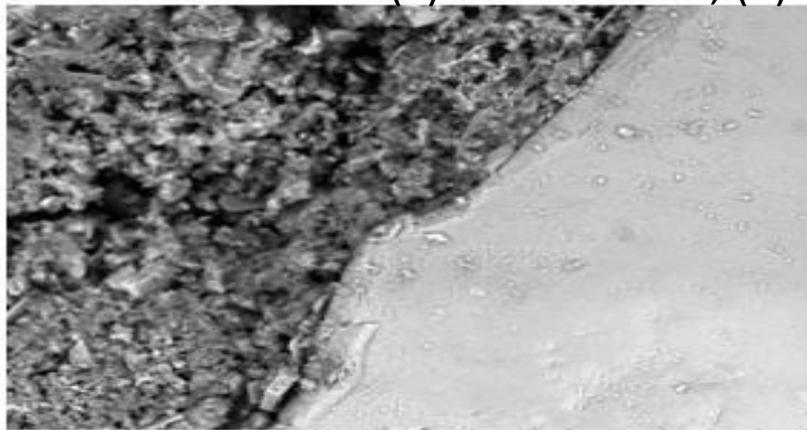
28 d40% R 2016/10/11 N D8.7 x500 200 um

(d)

## MICROSCOPIA

## Ampliações 1000x

MEV 28 dias (a) 100% natural, (b) 100%RCD, (c) 60%RCD e (d) 40% RCD (1000x).



**existência de vazios, a interface contribuindo para a perda de resistência mecânica do concreto**



**mostram micro trincas na argamassa de cimento**

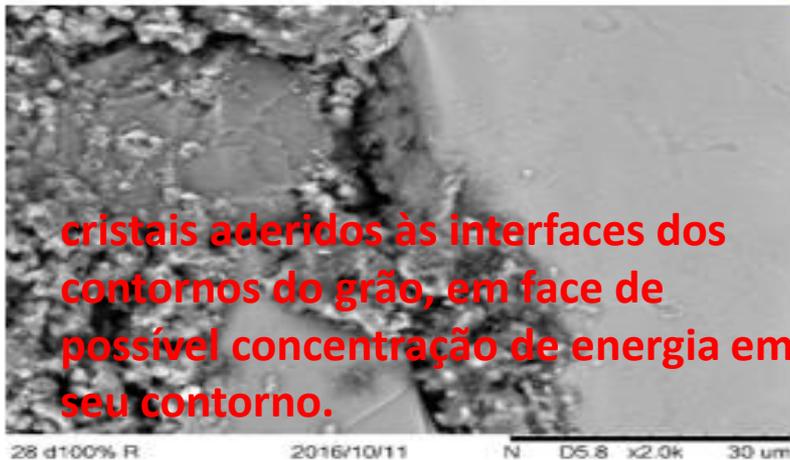
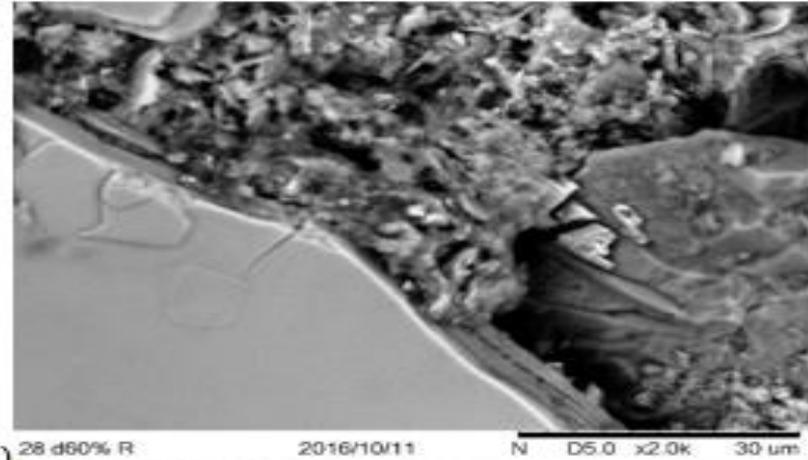
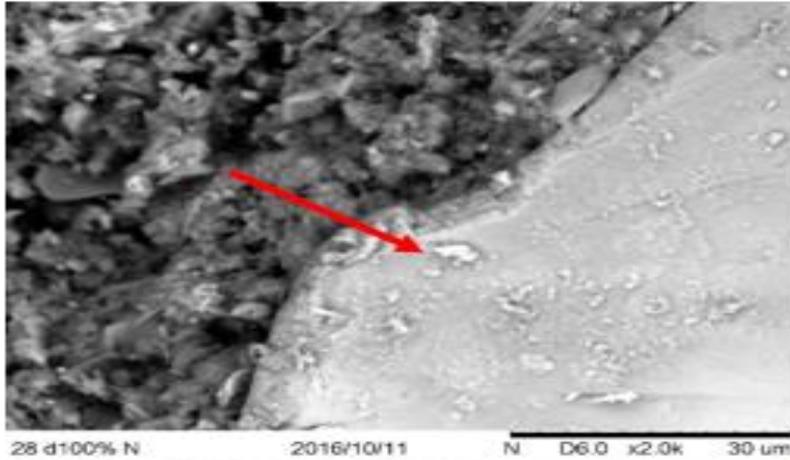
28 d60% R 2016/10/11 N D5.0 x1.0k 100 um

28 d40% R 2016/10/11 N D9.0 x1.0k 100 um

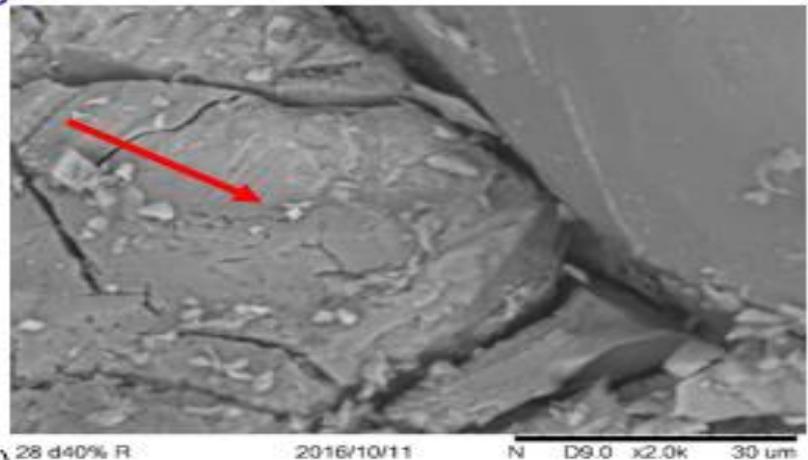
## MICROSCOPIA

## Ampliações 2000x

MEV 28 dias (a) 100% natural, (b) 100%RCD, (c) 60%RCD e (d) 40% RCD (2000x).



**crystalos aderidos às interfaces dos contornos do grão, em face de possível concentração de energia em seu contorno.**



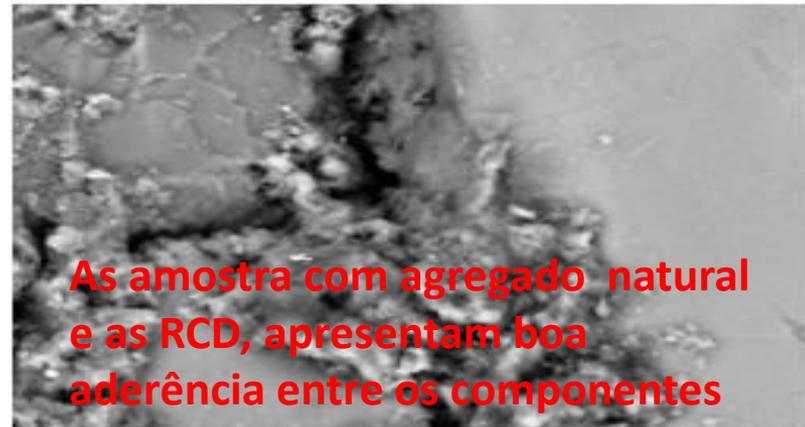
## MICROSCOPIA

## Ampliações 3000x

MEV 28 dias (a) 100% natural, (b) 100%RCD, (c) 60%RCD e (d) 40% RCD (3000x).



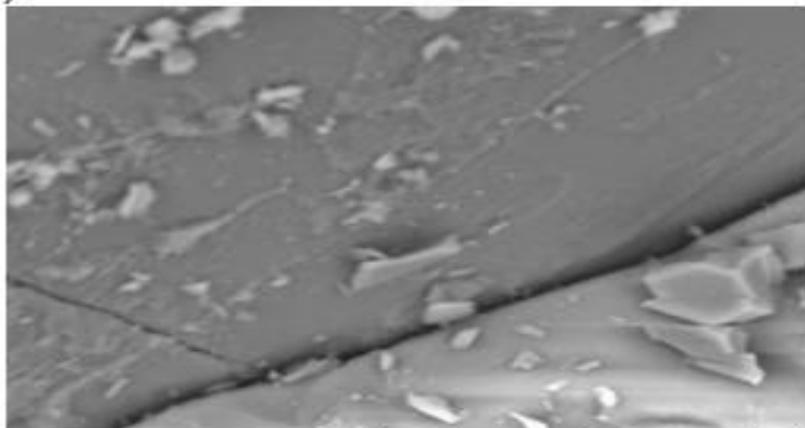
28 d100% N 2016/10/11 N D6.0 x3.0k 30 um



(a) 28 d100% R 2016/10/11 N D5.8 x3.0k 30 um (b)



28 d60% R 2016/10/11 N D5.0 x3.0k 30 um



(c) 28 d40% R 2016/10/11 N D9.0 x3.0k 30 um (d)

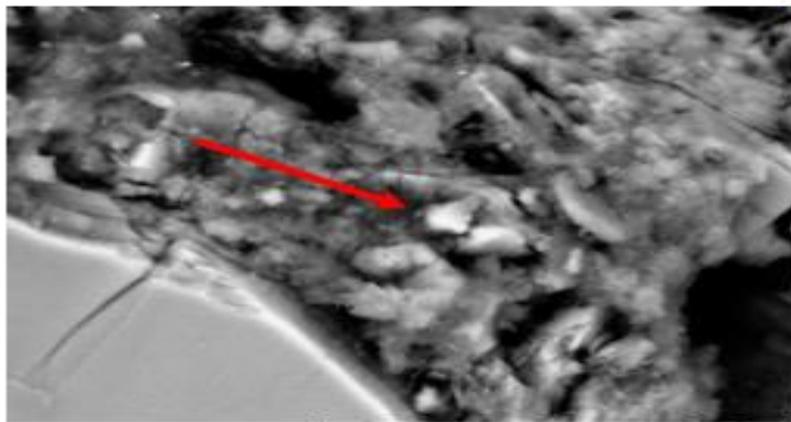
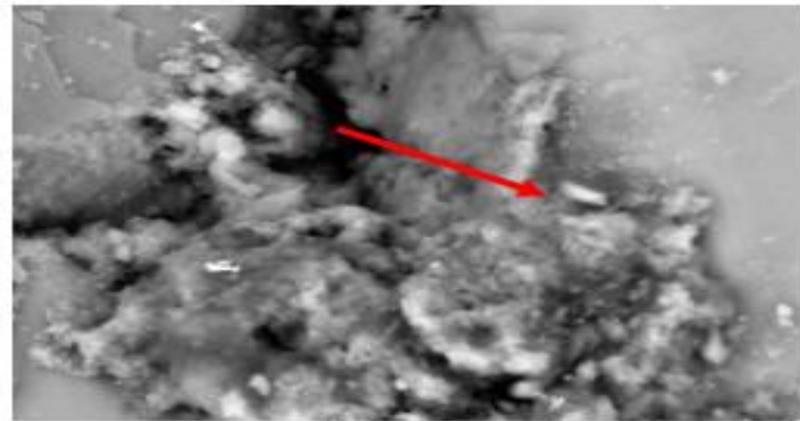
## MICROSCOPIA

## Ampliações 5000x

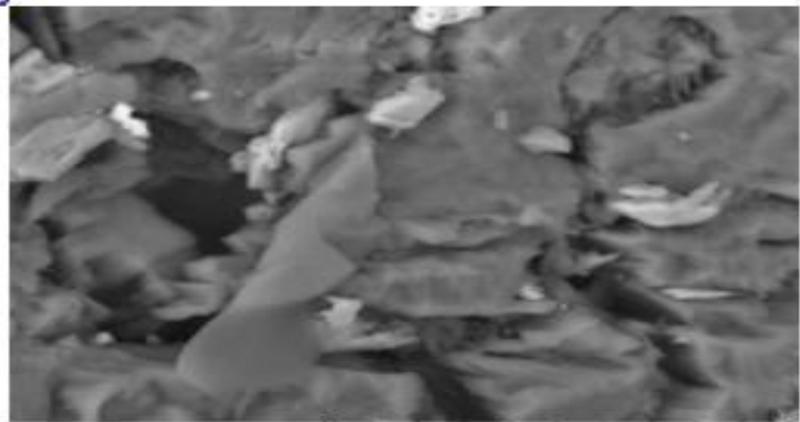
MEV 28 dias (a) 100% natural, (b) 100%RCD, (c) 60%RCD e (d) 40% RCD (5000x).



partículas de sílica (areia) envolvida pela argamassa de cimento.



28 d60% R 2016/10/11 N D4.9 x5.0k 20 um



28 d40% R 2016/10/11 N D8.7 x5.0k 20 um

**Os RDC de demolição possuem características apropriadas para serem reutilizados para produção de paver, apresentando-se como um bom substituto do agregado natural para a produção de concreto não estrutural. Objetivando reduzir os impactos ambientais e econômico causados pelos índices de entulho da construção civil.**

**Pelos ensaios obtidos, no que tange a resistência à compressão em corpos de prova de concreto, pode-se observar que com adição de RCD, apresentou uma queda na resistência, 32,47 MPa para 40% adição de RCD, 27,08 MPa para adição de 60% de RCD e 19,13 MPa para 100% de adição de RCD. Como demonstrado nos resultados, não comprometendo no objetivo desta pesquisa**

**Nos ensaios da absorção de água por imersão, não apresentou variação nos resultados, o que mostrou que o RCD apresentou característica similar ao agregado natural, obtendo de desvio padrão 0,06 g, para o agregado natural e obtendo até 0,35 g para o RCD.**

**A queda de resistência encontradas nos resultados, encontra-se dentro da variação aceitável para fins de produção de paver, apresentando desvio padrão de 0,65 para agregado natural e 0,67 para o RCD.**

**A micrografia observou que ocorre formação de produtos de hidratação na superfície porosa e rugosa do agregado, fato que contribui para aumentar a aderência da pasta/cimento.**

**Também houve uma interface entre o agregado natural e o RCD, apresentando boa aderência entre os componentes.**

# SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- ✓ **Avaliações dos paver quanto a resistência à abrasão;**
- ✓ **Avaliação de desempenho frente a elevadas cargas;**
- ✓ **Estudo de viabilidade econômica;**
- ✓ **Análise para produção em escala industrial;**
- ✓ **Verificação de resistência à compressão através da introdução de aditivos;**
- ✓ **Avaliar a influência dos agregados reciclados na retração térmica e hidráulica do concreto.**

# OBRIGADO

