

# Avaliação da Viabilidade Técnica de Concreto Elaborado com Agregado Graúdo Reciclado

## Analysis of the Concrete Developed With Recycled Coarse Aggregate

Luís Eduardo Azevedo Modler<sup>1</sup>, Cristina Eliza Pozzobon<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUI, Ijuí, RS  
e-mail: [modler@unijui.edu.br](mailto:modler@unijui.edu.br), [pozzobon@unijui.edu.br](mailto:pozzobon@unijui.edu.br)

**RESUMO:** O objetivo deste estudo é analisar concretos desenvolvidos com substituição parcial e total de agregados graúdos, obtidos através da reciclagem de concreto. O estudo inicia com a caracterização dos seguintes materiais: agregado graúdo, obtido através da moagem de corpos de prova de concreto, agregado graúdo, obtido por moagem da rocha natural; areia natural e cimento Portland. O passo seguinte é a realização de estudos de dosagem para a obtenção de traços para produção de concretos com resistência a compressão de 15 MPa a 40 MPa, e com 0% a 75% de substituição do agregado natural pelo reciclado. Após, as misturas são testadas para analisar suas propriedades no estado fresco e no estado endurecido. De posse destes resultados torna-se possível compor gráficos de tendência podendo-se correlacionar as variáveis estudadas. Então, é possível avaliar alguns aspectos da viabilidade técnica da substituição do agregado natural por agregado reciclado.

**ABSTRACT:** The aim of this study is to analyze concretes developed by partial and total substitution of coarse aggregate, obtained by the recycled concrete. The study begins with the characterization of the materials: coarse aggregate obtained by grinding of the concrete samples, coarse aggregate obtained by grinding of the natural rock, natural fine aggregate and Portland cement. The next step is to find the mixture composition, through a mix-design method, to produce concretes having compressive strength of 15-40 MPa, and with 0%-75% of substitution of the natural aggregate for the recycled aggregate. After that, the mixtures are tested to analyze their properties in the fresh state and in the mature state. In possession of these results it makes possible to compose some tendency graphs that can correlate the studied variable. Then it is possible to evaluate some aspects of technical viability of the substitution of the natural aggregate for the recycled aggregate.

### 1. INTRODUÇÃO

O impacto ambiental provocado pela atividade da construção configura-se, nos dias atuais, em motivo de grande preocupação de organismos ambientais, bem como de pesquisadores de diversas áreas do conhecimento, entre elas a própria construção.

É premente a adoção de soluções que busquem mitigar os efeitos nocivos ao meio ambiente, gerados pela construção civil, sob vários aspectos. A utilização em escala cada vez maior de recursos não renováveis, como calcário na produção de cimento, rochas e areias, empurra cada vez mais as fronteiras naturais da exploração em direção ao

esgotamento das reservas. A própria extração de minerais provoca danos ao entorno da atividade de difícil saneamento futuro, o que compromete o equilíbrio ecológico em prol do desenvolvimento econômico. De outro prisma, se acompanha a altíssima geração de resíduos pela indústria da construção que são, de maneira geral, negligenciados quanto à sua destinação segura e inócuca.

Sob qualquer ótica, as questões levantadas anteriormente assumem volume e grandeza quando ilustradas por números como os apresentados por Buttler [1], que estimou que cerca de 855.000 m<sup>3</sup> de concreto são desperdiçados por ano junto às centrais de concreto no Brasil. O mesmo autor,

citando a ASSOCIATED GENERAL CONTRACTORS (2001), afirma que nos Estados Unidos cerca de 320 km de pavimentos de concreto foram recicladas naquele ano. Maitelli *et al* [2] afirmam que somente na cidade de Natal/RN desperdiça-se cerca de 66 toneladas de concreto por dia.

Mesmo considerando características locais e projetando-se para um futuro próximo uma otimização dos processos de produção de concreto em centrais ou *in loco*, visando à diminuição do desperdício, pode-se perceber que é necessário ampliar os canais para a diminuição do impacto que tais resíduos causam ao meio ambiente e à economia das sociedades.

A reciclagem do concreto endurecido em agregado graúdo, para ser utilizado novamente em concretos estruturais tem se mostrado como uma alternativa de fácil argumento junto a construtores e engenheiros. Contudo há que se buscar maior fundamentação teórico-prática para tais argumentos no que tange às características técnicas dos materiais oriundos desta ação.

Vários estudos vêm se ocupando deste assunto com o intuito de trazer à luz as informações referentes a diferentes aspectos do comportamento de concretos utilizando agregado reciclado de concreto. Apontam este caminho trabalhos como o de Gonçalves e Machado [3] que empreenderam uma análise teórica e experimental acerca das propriedades dos agregados reciclados, confrontando seus resultados com estudos estrangeiros.

Leite *et al* [4] propuseram método para determinação da taxa de absorção do agregado reciclado, atentando para a importância do conhecimento desta propriedade para a melhor utilização do material na dosagem de concretos.

Levi e Helene [5] avaliaram a influência dos agregados reciclados sobre o módulo de elasticidade do concreto, chegando à conclusão de que a origem do agregado é preponderante na definição do comportamento do concreto, além dos teores de substituição. Os autores concluíram que, em geral, há um decréscimo no módulo de elasticidade quando crescem os teores de substituição, exceção feita aos agregados miúdos de alvenaria que provocaram a inversão do comportamento.

Levi e Helene [6] ampliaram a discussão para a análise da influência dos agregados reciclados na resistividade dos concretos utilizando agregados

reciclados de diversas naturezas. Parâmetro decisivo na avaliação da durabilidade de concretos, a resistividade é influenciada pelas condições de mistura, granulometria dos agregados, fração volumétrica da pasta e condições de umidade dos poros do material.

## 2. OBJETIVOS

O presente trabalho tem como objetivo geral a ampliação da discussão acerca dos novos materiais que se apresentam como alternativa para profissionais envolvidos nas atividades ligadas à indústria da construção, muitas vezes sem a análise necessária ao perfeito entendimento de suas propriedades e potencialidades técnicas e econômicas. Neste sentido, busca-se no presente artigo apresentar e discutir os resultados obtidos no trabalho de pesquisa desenvolvido no Laboratório de Engenharia Civil (LEC) da UNIJUI.

Os objetivos específicos do trabalho de pesquisa desenvolvido são:

- caracterização dos materiais selecionados para composição das misturas;
- desenvolvimento de estudo de dosagem de concretos com resistências de dosagem de 15MPa, 30MPa e 40MPa usando agregado graúdo natural e agregado graúdo de concreto reciclado com dois diâmetros distintos em misturas com diferentes teores de substituição do agregado natural pelo agregado reciclado;
- análise dos concretos obtidos através do estudo de dosagem a partir de suas características nos estados fresco e endurecido;
- comparação entre as misturas utilizando agregado de concreto reciclado e a mistura de referência, que utiliza apenas agregado natural.

## 3. MATERIAIS E MÉTODOS UTILIZADOS

### 3.1 Coleta e Caracterização dos Materiais

A coleta e seleção dos materiais utilizados na pesquisa se deram a partir da disponibilidade dos mesmos no próprio laboratório. A areia e a brita natural foram doações de empresa que comercializa estes materiais na cidade, o cimento foi doado pela Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) e a brita reciclada foi obtida a partir de corpos-de-prova rompidos no LEC como

prestação de serviço a empresas de construção e usinas de concreto, os quais foram levados até o britador para proceder sua trituração e transformação em agregado graúdo.

Os materiais utilizados na pesquisa foram caracterizados através de ensaios físicos no Laboratório de Engenharia Civil conforme as prescrições das normas pertinentes:

- agregado miúdo: composição granulométrica segundo a NBR7217 [7], massa específica segundo a NBR9776 [8] e massa unitária solta segundo a NBR7251 [9];

- agregado graúdo (brita natural e britas reciclada): composição granulométrica segundo a NBR7217 [7], absorção e massa específica segundo a NBR9937 [10] e massa unitária solta segundo a NBR7251 [9];

- Cimento Portland: finura segundo a NBR11579 [11], tempo de pega segundo a NBR11581 [12], massa específica segundo a NBR NM23 [13] e massa unitária solta segundo a NBR7251 [9].

Os Quadros 1 e 2 mostram os resultados obtidos na caracterização dos agregados utilizados e do cimento, respectivamente.

### 3.2 Estudos de dosagem

O estudo de dosagem na pesquisa teve papel central dominando boa parte do cronograma estipulado para a sua consecução. O que se buscou com esta estratégia foi proporcionar um passo a mais na discussão acerca do material que se pretendia investigar. Um estudo de dosagem levado a cabo a partir de um método consagrado deve, *a priori*, permitir que se obtenha traços bem ajustados, respeitando-se as características do conjunto de materiais utilizados. Além disso, o objetivo do trabalho foi sempre centrado na análise das características do material dentro de certas faixas de resistência à compressão. Este parâmetro foi o escolhido por ser representativo de uma grande quantidade de características do concreto de cimento Portland e, conseqüentemente, por ser o parâmetro que possui maior trânsito entre o meio técnico na atualidade.

O método de dosagem adotado foi o método do IPT, apresentado em Helene e Terzian [14], a partir do qual foi possível, além da obtenção dos traços definitivos destinados à produção dos concretos com as resistências estipuladas,

conhecer certas características das misturas que iriam balizar o posicionamento da equipe de trabalho quando da produção dos traços definitivos.

A mistura dos agregados graúdos foi definida a partir da análise da massa unitária compactada das misturas visando à obtenção do menor volume de vazios possível para um dado conjunto de materiais. Tais ensaios objetivaram a obtenção da mistura ótima das duas britas recicladas de onde se obteve como resultado a composição de 20% para a brita reciclada de 9,5 mm e 80% para a brita reciclada de 19 mm.

Procedeu-se, então, a definição dos traços base, ou seja, a estimativa inicial da relação cimento/agregados em massa seca e avaliação do teor ótimo de argamassa para cada mistura, quais sejam:

- traço de referência – concreto com agregado natural (0% de substituição);

- traços de análise – concreto com 50% e 75% de substituição do agregado natural por agregados reciclados de concreto.

O Quadro 3 mostra os traços bases unitários resultantes da determinação dos teores ótimos de argamassa.

Como resultado dos estudos de dosagem executados, chegou-se aos traços das misturas a serem analisadas baseadas nas resistências de dosagem ( $f_{cj}$ ) de 15MPa, 30MPa e 40MPa. Estes traços são mostrados no Quadro 4, com o fator  $a/c$  calculado a partir do estudo de dosagem.

### 3.3 Caracterização física das misturas

#### 3.3.1 Concreto Fresco

As análises realizadas nas misturas determinadas anteriormente no seu estado fresco, objetivaram a avaliação das características das mesmas frente à alteração ocorrida na mistura granular devido à substituição do agregado natural pelo agregado de concreto reciclado.

Como objetivo secundário, estas análises buscaram subsídios para a explicação de possíveis alterações das propriedades do concreto endurecido devido às substituições. Desta forma foram procedidas as análises de trabalhabilidade de acordo com a NBR 7823 [15] e massa específica do concreto fresco (NBR 9778 [16]).

Além disso, foram calculados os parâmetros quantitativos das misturas, como consumo de cimento buscando bases de comparação entre as misturas.

A trabalhabilidade do concreto fresco, medida através do abatimento do tronco de cone (*slump test*), foi mantida fixa visando alcançar as resistências especificadas no estudo de dosagem. Portanto, a análise do comportamento das misturas quanto à sua trabalhabilidade deu-se a partir da alteração da relação água/cimento (a/c) vista neste trabalho como principal instrumento para alteração da trabalhabilidade para um dado conjunto de materiais.

### 3.3.2 Concreto Endurecido

- Absorção de água do concreto

A análise da absorção do concreto foi realizada no intuito de avaliar a influência da alta absorção do agregado reciclado nesta característica do concreto endurecido. O ensaio seguiu as indicações da NBR 9778 [16]. A partir dos ensaios realizados, os dados de resposta foram tabulados e foi possível a construção de modelo gráfico que demonstra o comportamento das misturas no que tange à absorção de água por imersão.

- Resistência à compressão e resistência à tração por compressão diametral

A resistência à compressão do concreto (NBR5739 [17]) configura-se como principal característica física do material em seu estado endurecido, sendo utilizada como principal fator de especificação e dimensionamento de estruturas de concreto armado. Além disso, a resistência à compressão é propriedade fundamental na análise de diversas outras propriedades do concreto que estejam ligadas ao arranjo granular, compacidade, porosidade, etc. Desta forma, alterações no comportamento esperado da resistência à compressão podem, de maneira geral, demonstrar mais do que uma simples deficiência na dosagem, mas pode apontar na direção da inadequação de determinadas misturas e, assim suscitarem estudos aprofundados sobre outras características do material.

Da mesma forma, a resistência à tração do concreto (NBR7222 [18]), configura-se, além de propriedade de grandeza absoluta do concreto, como termômetro na aferição do comportamento

da mistura, quando submetida a um determinado carregamento.

## 4. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

### 4.1 Características das misturas no estado fresco

As misturas definidas no estudo de dosagem realizado foram analisadas a partir de suas características no estado fresco e endurecido. O gráfico da Figura 1 apresenta a variação do fator a/c e da massa específica do concreto com a resistência de dosagem.

A variação do fator a/c segue o comportamento da referência para os teores de substituição estudados, com pequena variação nos valores absolutos, sendo que os traços com substituição apresentaram valores superiores aos da referência.

O Quadro 5 mostra outra característica das misturas em relação às resistências de dosagem adotadas na pesquisa. Analisando-se conjuntamente as características percebe-se que o aumento no teor de substituição do agregado natural exigiu maior quantidade de água para que a mistura atingisse o nível de trabalhabilidade que se buscava na pesquisa.

Estes resultados corroboram a aferição com relação à quantidade de água necessária feita quando da execução do estudo de dosagem. Naquela ocasião ficou claro que a presença de agregado reciclado tornava o ajuste da trabalhabilidade uma atividade bastante delicada. Quanto mais tempo passava, desde o início da mistura, maior a trabalhabilidade do concreto.

A meta neste ponto da pesquisa passou a ser, então, ajustar o *slump* da mistura o mais rápido possível, sob pena de abandonar a amostra, devido a esta apresentar valores de trabalhabilidade além do especificado com mínimas quantidades de água adicionadas.

Os resultados apresentados são, então, fruto desta estratégia. O ajuste da trabalhabilidade num curto espaço de tempo permitiu que a água que fora inicialmente absorvida pelo agregado reciclado retornasse à pasta de cimento aumentando a trabalhabilidade do concreto.

A massa específica do concreto, que pode ser observada no gráfico da Figura 1 para os diferentes teores de substituição, refletiu, também, o padrão

de comportamento da referência para as demais misturas. As variações ocorridas entre as misturas com diferentes teores estão ligadas unicamente à substituição do agregado natural pelo artificial que possui valores de massa específica absoluta menores que do agregado natural.

## 4.2 Características do concreto no estado endurecido

### 4.2.1 Absorção de água do concreto

Os resultados obtidos nos ensaios de absorção de água das misturas utilizadas no estudo podem ser sintetizados no gráfico da Figura 2.

Os resultados obtidos demonstram que a absorção de água das misturas com substituição parcial do agregado natural pelo artificial apresenta o mesmo comportamento da referência para as resistências de dosagem adotadas. Em todos os teores de substituição, o aumento da resistência de dosagem foi acompanhado pela diminuição da absorção, determinando que independentemente do teor de substituição uma maior compacidade do concreto permite a obtenção de resistências mais elevadas.

Porém, a análise mais importante a ser feita nesse caso relaciona-se ao fato de que os maiores índices de absorção dos agregados de concreto não acarretam aumento da absorção do concreto endurecido. Desta forma, a influência que o tipo de agregado exerce sobre a absorção do concreto está relacionada ao arranjo granular entre os diferentes agregados.

O arranjo granular, por sua vez é função da forma, textura e tamanho das partículas, o que influencia diretamente na relação do agregado graúdo com a pasta de cimento. Desta relação e da qualidade da pasta em si dependem as principais características do concreto endurecido, dentre as quais a resistência à compressão.

O gráfico da Figura 3 ilustra este fato de maneira diversa mostrando a variação da absorção após 72 horas de ensaio com os teores de substituição para as diferentes resistências de dosagem adotadas. O gráfico mostra, que para as três resistências de dosagem adotadas, a substituição com teor de 50% do agregado natural pelo reciclado acarretou maior absorção de água ao final do ensaio, enquanto os menores índices de

absorção foram obtidos para o teor de 75% de substituição.

### 4.2.2 Resistência à compressão simples e resistência à tração

As Figuras 4 e 5 mostram graficamente a variação da resistência à compressão com o tempo para as diferentes misturas e para 28 dias de ensaio, para os teores de substituição respectivamente.

Os gráficos apontam para a similaridade de comportamento entre os teores de substituição. Este fato comprova, além da viabilidade técnica da substituição, a aplicabilidade do método de dosagem escolhido para materiais compostos como o que foi proposto no trabalho.

Os valores obtidos, neste caso, corroboram com os resultados de absorção de água no concreto, em que o teor de 50% apresentou maiores índices de absorção em relação aos demais teores, denotando um arranjo granular menos compacto que as demais misturas.

Na Figura 6 é apresentado o gráfico obtido a partir dos resultados do ensaio de tração por compressão diametral.

O comportamento das misturas utilizando o agregado reciclado foi idêntico ao da referência, apresentando, para cada teor utilizado, valores ligeiramente inferiores à mesma. A mistura com 50% de substituição apresentou os menores valores para os três níveis de resistência à compressão estudados. Esta informação, a exemplo das demais grandezas analisadas, aponta para a deficiência do arranjo granular deste teor de substituição com relação às demais misturas.

## 5. CONCLUSÕES

Os resultados apresentados no trabalho permitem tecer comentários conclusivos dentro do escopo da pesquisa que se propôs realizar. Neste sentido, vale ressaltar que em que se pesem as limitações de abrangência de um único artigo, este deve respaldar-se não somente em seus próprios resultados, mas também em trabalhos complementares que corroborem ou mesmo antagonizem com as suas conclusões.

Desta forma, as principais conclusões relativas ao trabalho apresentado podem ser enumeradas como segue:

1) Para todas as propriedades analisadas as misturas contendo agregados de concreto reciclado apresentaram o mesmo comportamento da referência. A similaridade existente entre as curvas apresentadas demonstra que o material estudado, dentro dos parâmetros escolhidos para o trabalho, apresenta-se como alternativa tecnicamente viável do ponto de vista da previsibilidade de suas propriedades físicas.

2) As misturas com substituição apresentaram boa adequação ao método de dosagem proposto. A ressalva a ser feita neste caso refere-se ao ajuste da trabalhabilidade. Como mencionado, a água inicialmente absorvida pelo agregado reciclado tende a retornar para a pasta de cimento, o que dificulta, após certo período de tempo, o ajuste correto da trabalhabilidade e, principalmente, altera a relação água/cimento da pasta alterando, certamente, as suas propriedades mecânicas. Ainda assim, não houve alterações significativas no comportamento mecânico do concreto, quando o ajuste da trabalhabilidade pôde ser feito de maneira rápida. Neste sentido, salienta-se que o objetivo do trabalho não é o de mensurar a influência do tempo de mistura sobre a trabalhabilidade, mas os fatos mostram que este é um assunto a ser pesquisado futuramente.

3) O concreto com 50% de substituição apresentou, na avaliação das resistências à compressão e tração e absorção de água do concreto, valores que denotam uma deficiência no arranjo granular desta mistura em relação às demais misturas. Aqui, mais uma vez vislumbra-se a necessidade de aprofundamento dos estudos, abrangendo maior número de misturas e buscando novos arranjos granulométricos dos agregados envolvidos no trabalho. Há que se avaliar, também a relação peso/volume das misturas de agregados no intuito de diminuir o volume de vazios da estrutura granular.

A partir dos resultados deste trabalho não é possível avaliar como se dá a ruptura dos corpos-de-prova. Percebe-se, então, que em alguns aspectos a zona de transição do concreto produzido possa interagir de maneira ainda não conhecida com a zona de transição do concreto que deu origem aos agregados reciclados. Desta forma, podem-se buscar explicações e possíveis adequações nos traços a serem produzidos com concreto reciclado a partir de uma análise da origem dos agregados (idade do concreto e/ou resistência de dosagem), bem como da estrutura do

próprio agregado reciclado, como por exemplo, a porcentagem de argamassa de concreto presente no produto.

## REFERÊNCIAS

1. Buttler, A. M. *Concreto com Agregados Graúdos Reciclados de Concreto – Influência da Idade de Reciclagem nas Propriedades dos Agregados e Concretos Reciclados*. Dissertação de Mestrado, São Carlos, 2003.
2. Maitelli, C. W. S. P., et al. *Potencial de Utilização de Concreto Reciclado Oriundo das Centrais Dosadoras e de Resíduos de Concreto Provenientes de RCD (Resíduos de Construção e Demolição)*, 47º Congresso Brasileiro do Concreto. Recife, IBRACON, 2005.
3. Gonçalves, R. D. C.; Machado Jr, E. F. *Agregado Reciclado de Resíduos de Concreto – Um Novo Material para Dosagens Estruturais*. 43º Congresso Brasileiro do Concreto. Foz do Iguaçu, IBRACON, 2001.
4. Leite, M. B.; Pedrozo, P. H.; Dal Molin, D. C. *C. Agregado Reciclado para Concreto: Proposta de Desenvolvimento de um Método para Determinação da Taxa de Absorção do Material*, 42º Congresso Brasileiro do Concreto. Fortaleza, IBRACON, 2000.
5. LevY, S. M.; Helene, P. R. L. *Influência dos Agregados Reciclados na Resistividade e na Absorção de Água de Concretos*, 44º Congresso Brasileiro do Concreto. Brasília, IBRACON, 2002.
6. Levy, S. M.; Helene, P. R. L. *Influência dos Agregados Reciclados no Módulo de Elasticidade de Concretos com Agregados Convencionais e Agregados Reciclados – da Teoria à Prática*, 43º Congresso Brasileiro do Concreto. Foz do Iguaçu, IBRACON, 2001.
7. Associação Brasileira de Normas Técnicas. *Determinação da composição granulométrica: NBR 7217*. Rio de Janeiro, 1987.
8. Associação Brasileira de Normas Técnicas. *Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco de Chapman: NBR 9776*. Rio de Janeiro, 1987.
9. Associação Brasileira de Normas Técnicas. *Agregado em Estado Solto – Determinação da massa unitária: NBR 7251*. Rio de Janeiro, 1987.

- 10.Associação Brasileira de Normas Técnicas.  
*Agregado – Determinação da Absorção e da Massa Específica de Agregado Graúdo: NBR 9937.* Rio de Janeiro, 1987.
- 11.Associação Brasileira de Normas Técnicas.  
*Cimento Portland - Determinação da finura por meio da peneira 75 micrômetros (número 200): NBR 11579.* Rio de Janeiro, 1991.
- 12.Associação Brasileira de Normas Técnicas.  
*Cimento Portland - Determinação dos tempos de pega: NBR 11581.* Rio de Janeiro, 1991.
- 13.Associação Brasileira de Normas Técnicas.  
*Cimento portland e outros materiais em pó - Determinação de massa específica: NBR-NM23.* Rio de Janeiro, 1998.
- 14.Helene, P. R. L.; Terzian, P. *Manual de Dosagem e Controle do Concreto.* 1 ed. São Paulo: PINI, 1992.
- 15.Associação Brasileira de Normas Técnicas.  
*Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento de tronco de cone: NBR 7823.* Rio de Janeiro, 1982.
- 16.Associação Brasileira de Normas Técnicas.  
*Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água por imersão – Índice de vazios e massa específica: NBR 9778.* Rio de Janeiro, 1987.
- 17.Associação Brasileira de Normas Técnicas.  
*Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos: NBR 5739.* Rio de Janeiro, 1994.
- 18.Associação Brasileira de Normas Técnicas.  
*Argamassa e concreto - Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos: NBR 7222.* Rio de Janeiro, 1994.

Quadro 1 – Caracterização dos agregados utilizados na pesquisa

MATERIAL	Ømáx (mm)	MASSA ESPECÍFICA ABSOLUTA kg/dm <sup>3</sup>	MASSA UNITÁRIA SOLTA kg/dm <sup>3</sup>	ABSORÇÃO %	MÓDULO DE FINURA
BRITA RECICLADA	19,00	2,48	1,41	5,00	6,70
BRITA RECICLADA	9,50	2,35	1,30	6,75	5,78
BRITA NATURAL	19,00	2,94	1,61	1,30	6,51
AREIA NATURAL	1,2	2,59	1,98	-	1,73

Quadro 2 – Caracterização do cimento utilizado na pesquisa

TIPO	FINURA	INÍCIO DE PEGA	FIM DE PEGA	MASSA ESPECÍFICA	MASSA UNITÁRIA SOLTA
CP II Z F-32	2,23%	03:00h	04:15h	3,005g/cm <sup>3</sup>	1,163 g/cm <sup>3</sup>

Quadro 3 – Traços bases unitários

SUBST. 0%	cimento	areia	brita			TEOR DE ARGAMASSA
			natural	rec. #9,5mm	rec. #19mm	
1/ 5	1	2,0	3,0	0,0	0,0	<b>50%</b>
1/ 6	1	2,5	3,5	0,0	0,0	
1/ 7	1	3,0	4,0	0,0	0,0	
1/ 8	1	3,5	4,5	0,0	0,0	
SUBST. 50%	cimento	areia	brita			TEOR DE ARGAMASSA
			natural	rec. #9,5mm	rec. #19mm	
1/ 5	1	2,0	1,5	0,3	1,2	<b>50%</b>
1/ 6	1	2,5	1,8	0,4	1,4	
1/ 7	1	3,0	2,0	0,4	1,6	
1/ 8	1	3,5	2,3	0,5	1,8	
SUBST. 75%	cimento	areia	brita			TEOR DE ARGAMASSA
			natural	rec. #9,5mm	rec. #19mm	
1/ 5	1	2,12	0,72	0,43	1,73	<b>52%</b>
1/ 6	1	2,64	0,84	0,50	2,02	
1/ 7	1	3,16	0,96	0,58	2,30	
1/ 8	1	3,68	1,08	0,65	2,59	

Quadro 4 – Traços definitivos

TEOR DE SUBSTITUIÇÃO	MISTURA	fcj	TRAÇO BASE	TRAÇO UNITARIO					
				cimento	areia	Brita natural	Brita reciclada		Água
							# 1	# 2	
0%	T-0-15	15MPa	1/8,95	1	3,98	4,98	0,00	0,00	0,87
	T-0-30	30MPa	1/5,52	1	2,26	3,26	0,00	0,00	0,57
	T-0-40	40MPa	1/4,1	1	1,55	2,55	0,00	0,00	0,44
50%	T-50-15	15MPa	1/8,63	1	3,82	2,41	0,00	1,93	0,91
	T-50-30	30MPa	1/5,64	1	2,32	1,66	0,33	1,33	0,62
	T-50-40	40MPa	1/4,4	1	1,70	1,35	0,27	1,08	0,51
75%	T-75-15	15MPa	1/7,79	1	3,57	1,05	0,00	2,53	0,92
	T-75-30	30MPa	1/4,9	1	2,07	0,71	0,42	1,70	0,62
	T-75-40	40MPa	1/3,7	1	1,44	0,56	0,34	1,35	0,49

Quadro 5 – Consumo de cimento das misturas

Resistência de Dosagem	Consumo de Cimento (kg/m <sup>3</sup> )		
	0%	50%	75%
15MPa	222,45	221,20	240,12
30MPa	368,46	349,22	388,54
40MPa	493,71	451,82	513,97

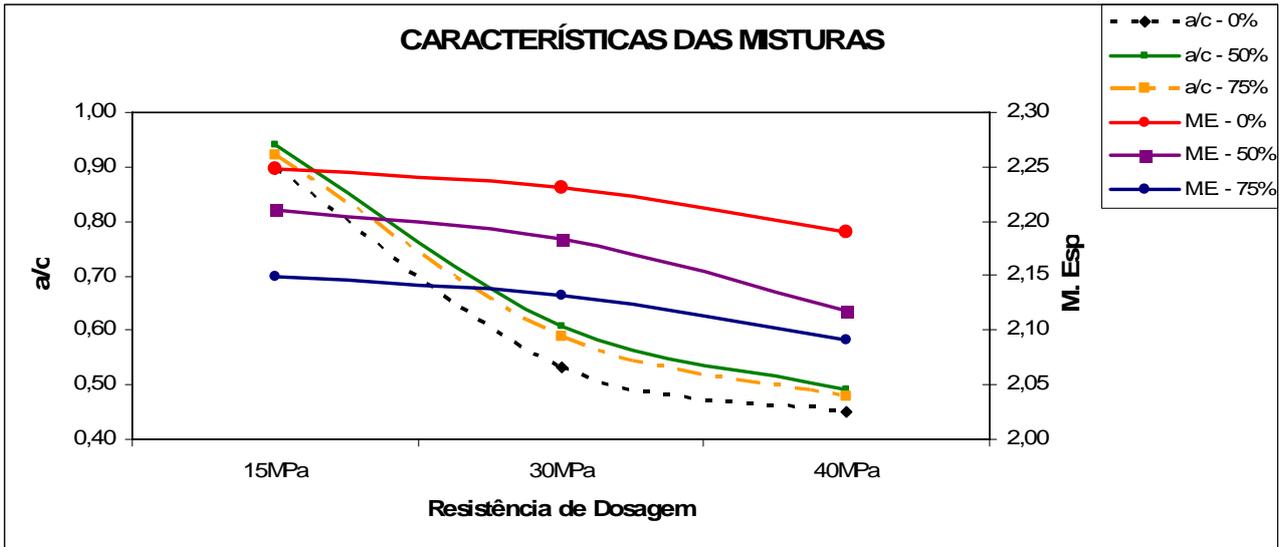


Figura 1 – Características das misturas no estado fresco

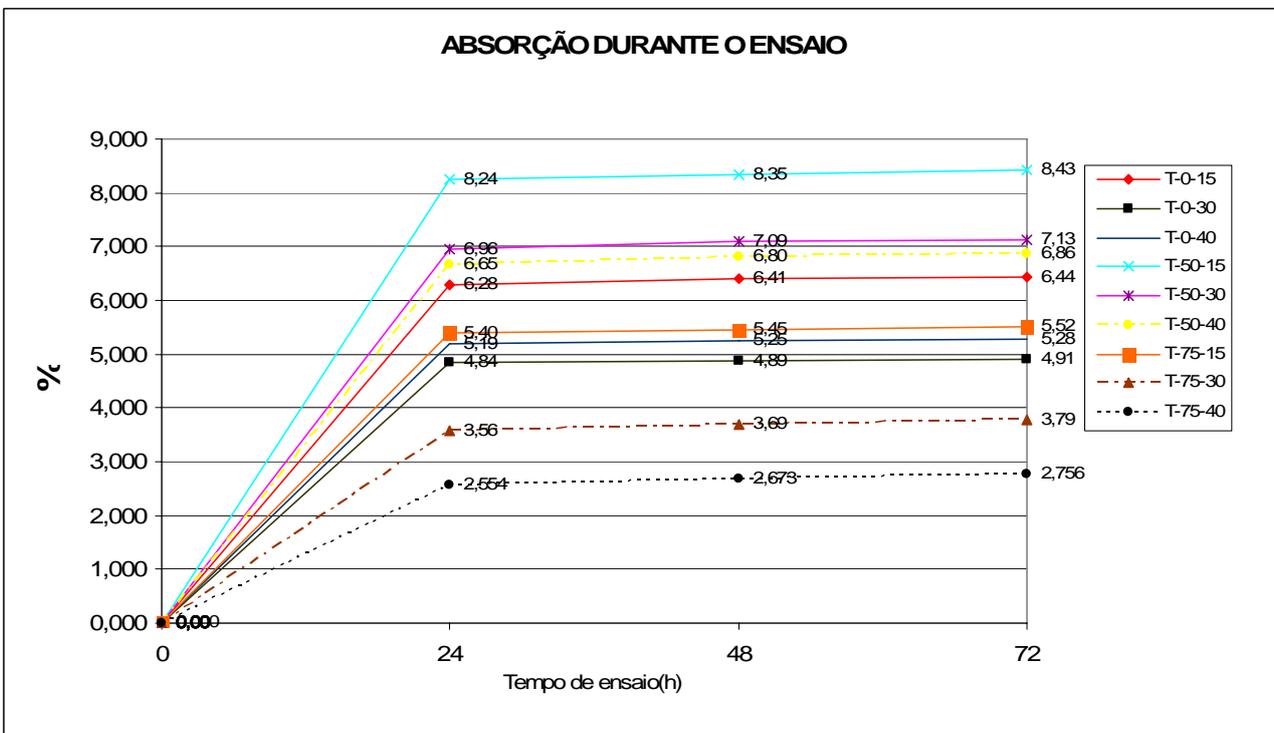


Figura 2 – Absorção de água das misturas

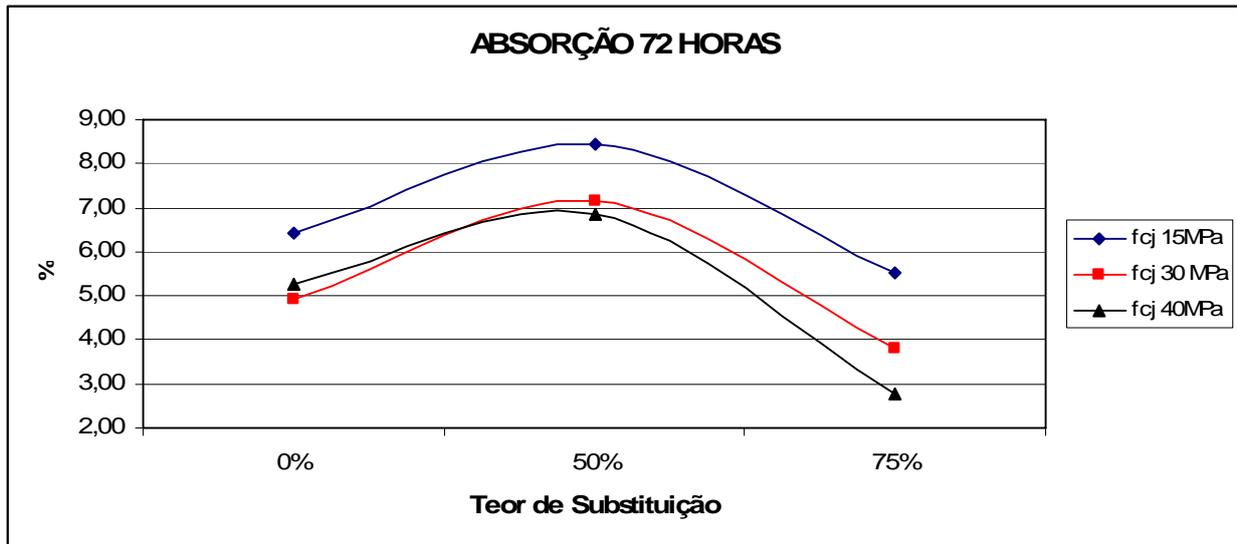


Figura 3 – Absorção de água após 72 horas de ensaio

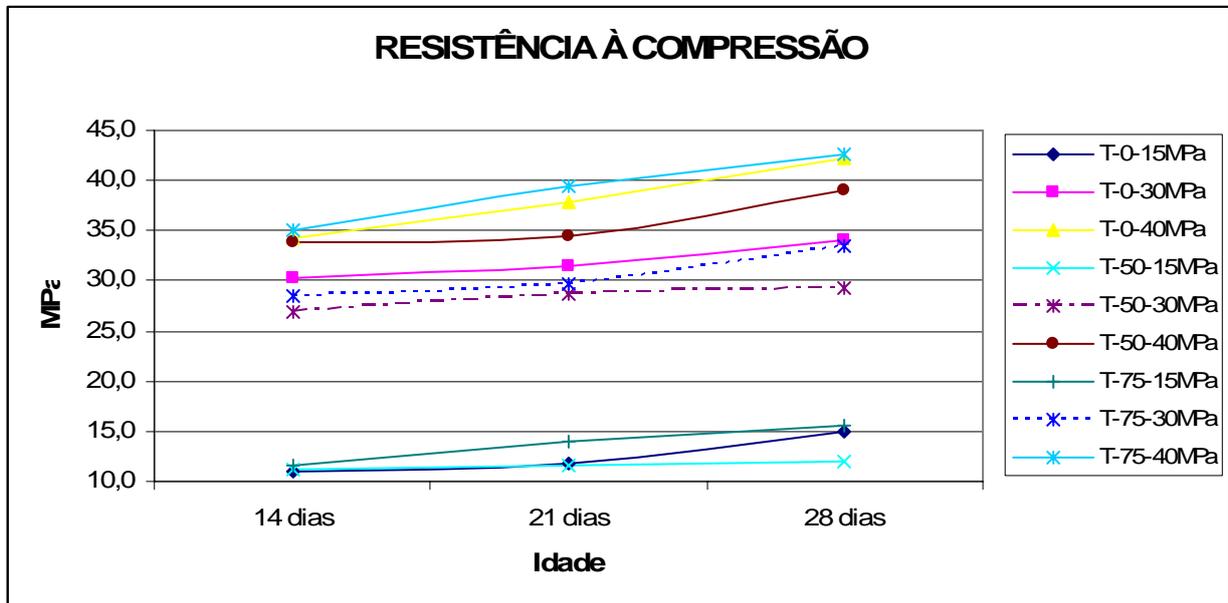


Figura 4 – Resistência à compressão das misturas

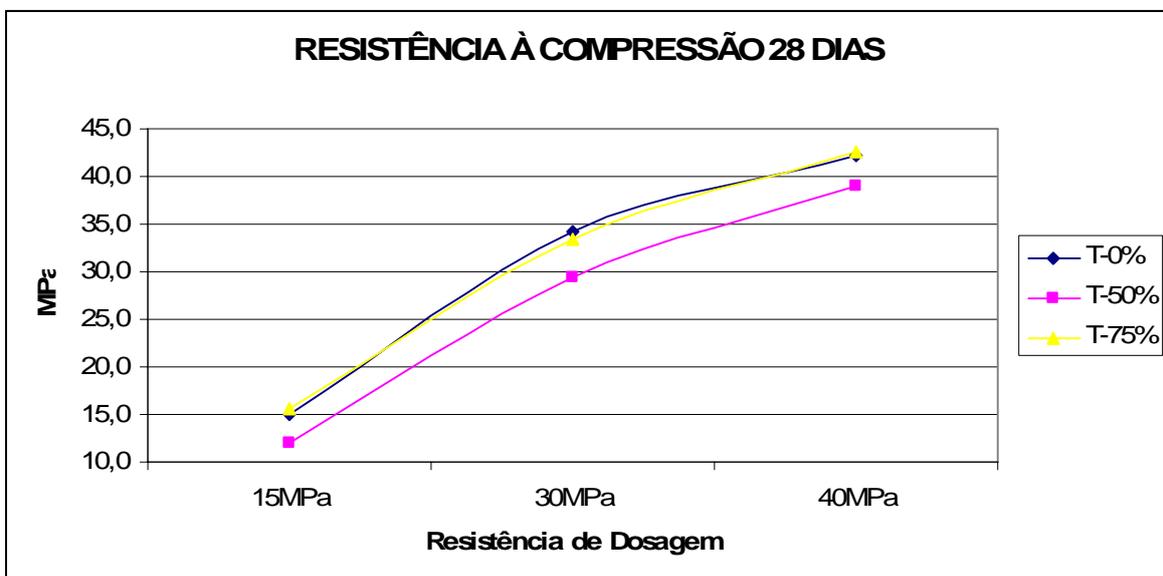


Figura 5 – Resistência à compressão aos 28 dias

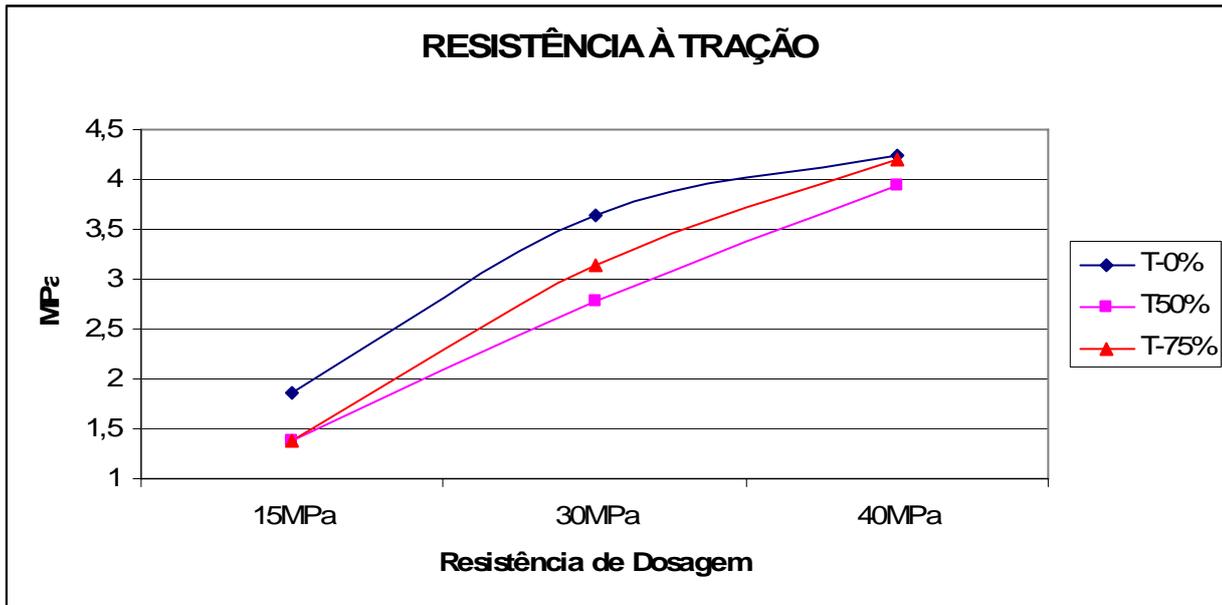


Figura 6 – Resistência à tração