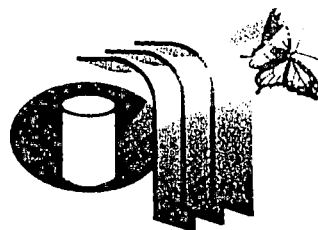
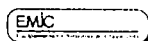


SET
03
12
03

Patrocinadores:



IBRACON Instituto Brasileiro do Concreto

43º Congresso Brasileiro do Concreto

18 a 23 de agosto de 2001

Foz do Iguaçu - PR

Rafain Palace Hotel

*Normalização, Comportamento
e Análise do Concreto Estrutural*

*Métodos Construtivos de
Estruturas de Concreto*

*Qualidade da Construção em
Concreto*

*Novos Materiais para Concreto
e a Reciclagem de Materiais*

"Excelência em Concreto"

AGREGADO RECICLADO DE RESÍDUOS DE CONCRETO – UM NOVO MATERIAL PARA DOSAGENS ESTRUTURAIS.

Rodrigo Dantas Casillo Gonçalves (1); Eloy Ferraz Machado Jr. (2)

(1) Engenheiro Civil, Mestre em Engenharia de Estruturas pela Escola de Engenharia de São

Carlos, Universidade de São Paulo.

email: rcasillo@terra.com.br

(2) Professor Doutor, Departamento de Engenharia de Estruturas da Escola de Engenharia de São

Carlos, Universidade de São Paulo

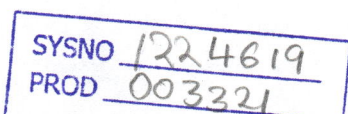
email: efemacjr@sc.usp.br

Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo

Av. . Trabalhador Sãocarlense, 400 - São Carlos, SP – CEP: 13566-590 – FAX: 16 273 9482

Resumo

A maioria dos processos de fabricação de um produto geram resíduos. Quando não se dispõem de uma tecnologia para seu reaproveitamento, certamente este produto será depositado na natureza ocasionando inúmeros problemas ambientais. Também existe o fato que algumas empresas jogam fora, materiais que poderiam gerar benefícios econômicos após um beneficiamento adequado. Este trabalho trata da reutilização dos resíduos de concreto como agregado reciclado, miúdo e graúdo, para dosagens estruturais. Os agregados reciclados possuem propriedades diferentes dos naturais, podendo ser chamados de até um novo material. De uma maneira informativa, esta pesquisa procura passar alguns conceitos deste material, confrontando dados de estudos estrangeiros, com uma análise teórica e experimental.



1 INTRODUÇÃO

Todos os processos de fabricação de um produto geram resíduos, quando não aproveitados estes na maioria dos casos são despejados na natureza, ocasionando problemas no meio ambiente.

A indústria de construção civil é uma das que mais geram resíduos, e na maioria dos casos não se preocupa com o fim destes rejeitos. Este contexto certamente mudará com o tempo, pois leis ambientais mais severas estão aparecendo, além de novas tecnologias que aproveitam estes materiais conferindo um valor econômico.

Um dos resíduos da indústria da construção civil com grande potencial para serem reutilizados, são os resíduos de concreto. Os principais agentes geradores destes materiais são, as fábricas de pré-moldados (elementos refugados, restos de materiais, etc.), demolições de construções e de pavimentos rodoviários, além das usinas de concreto pré-misturado.

Uma das possibilidades da utilização dos resíduos de concreto, é como agregado para reciclado para produção de concreto. Estes materiais possuem algumas diferenças em relação às propriedades dos materiais naturais, que devem ser conhecidas para sua aplicação prática.

2 IMPORTÂNCIA DA PESQUISA

Uma possível solução para o problema dos resíduos, é sua valorização como matéria prima. O desconhecimento em muitos casos é o fator principal da perda de um material, que poderia gerar um retorno financeiro para uma empresa.

Para um resíduo ser usado, é necessário saber que suas propriedades são normalmente diferentes de um material natural, e portanto a forma de sua utilização deve respeitar suas características próprias.

Este trabalho estudou algumas propriedades dos agregados reciclados de resíduos de concreto, de uma maneira informativa ele apresenta informações que foram obtidas de uma pesquisa bibliográfica, teórica e experimental, e são prova

que os mesmos conceitos aplicados no exterior podem ser utilizados no Brasil.

3 METODOLOGIA EMPREGADA

A metodologia empregada para a pesquisa foi composta de três etapas, pesquisa bibliográfica, teórica e experimental, que tiveram seus resultados comparados no final do trabalho. Para a fase teórica e experimental, foram utilizadas quatro dosagens de concreto, com composições diferentes de agregados, Tabela 1.

<u>Tabela 1 – Composição de agregados nas dosagens.</u>	
<u>Dosagem</u>	<u>Composição de agregados</u>
1	agregado miúdo = areia natural. agregado graúdo = brita 1.
2	agregado miúdo = areia natural. agregado graúdo = agregado graúdo reciclado.
3	agregado miúdo = 50% areia natural+50% agregado miúdo reciclado. agregado graúdo = agregado graúdo reciclado.
4	agregado miúdo = 50% areia natural+50% agregado miúdo reciclado. agregado graúdo = brita 1.

**4 PESQUISA BIBLIOGRÁFICA – ESTUDOS DAS PESQUISAS
EXTRANGEIRAS**

Para todas as pesquisas consultadas existiu um consenso, existe nos agregados reciclados partículas de argamassa aderidas nos agregados naturais e pedaços soltos de argamassa. Esta quantidade de argamassa influencia muito as propriedades dos agregados reciclados e dos concretos feitos com eles, conforme é aumentado o nível de substituição dos materiais naturais.

Os agregados reciclados possuem uma absorção de água muito maior que os naturais, e uma massa específica menor.

Na mistura, para uma mesma relação água/cimento, existe uma perda significativa

de trabalhabilidade em comparação à um concreto com agregados naturais, devido a maior absorção de água dos materiais reciclados. Para o agregado graúdo reciclado esta diferença pode ser até três vezes maior que do agregado natural.

A maioria das pesquisas consultadas, falam da importância das características do resíduo de concreto para a resistência à compressão do concreto reciclado.

Resíduos provenientes de concretos de baixa resistência, ou que são frutos da composição de várias sobras, de concretos de resistência variada, podem ocasionar no concreto reciclado um valor de resistência mais baixo que o esperado.

Uma das pesquisas consultadas estudou os resultados de diversos autores, apresentando uma conclusão global sobre a influência dos agregados reciclados na resistência à compressão, HANSEN (1985):

- Concretos reciclados onde somente foi usada a fração graúda do agregado reciclado, tiveram uma diminuição de cinco por cento no valor da resistência à compressão em relação ao concreto natural. Para uma substituição global, ou seja, a utilização de ambas frações do agregado reciclado, miúdo e graúdo, esta diminuição ficou bastante acentuada chegando-se a valores entre vinte e quarenta por cento do encontrado para o concreto natural. Já para uma substituição parcial, onde existe na fração miúda uma composição de cinquenta por cento de material natural (areia) e cinquenta por cento de agregado reciclado, este valor ficou entre dez e vinte por cento.

Analisando os resultados de pesquisas mais recentes, pode-se concluir que a influência da fração graúda, em média, não condiciona a uma perda de resistência. Podendo conferir valores até maiores que do material natural. Mas quando é utilizada a fração miúda do agregado reciclado, existe uma perda significativa na resistência.

Para o módulo de elasticidade, as pesquisas estrangeiras citam que existe uma

grande influência do agregado reciclado. Conforme o grau de substituição é aumentado, ocorre uma diminuição do valor desta propriedade em comparação à um concreto natural de mesmas características. E que a fração miúda do material reciclado possui uma influência bem maior do que a esperada.

Para dosagens onde somente foi utilizado o agregado graúdo reciclado, ocorreu uma diminuição do valor do módulo de elasticidade entre dez e vinte por cento, já para um nível de substituição total, miúdo e graúdo, esta diminuição ficou entre vinte e quarenta por cento.

A maioria das pesquisas consultadas concordam que existe a viabilidade técnica do material, mas citam que para ele ser usado na prática é necessário que outras linhas de estudos ocorram, como por exemplo modelos de gerenciamento de resíduos, métodos de demolição e aplicações práticas.

5 PESQUISA TEÓRICA

Na pesquisa teórica foi escolhida como propriedade de estudo o módulo de elasticidade, usou-se modelos teóricos onde as características dos agregados e da argamassa foram as variáveis. Isto ocorreu pois no estudo experimental, ambas as frações do agregado reciclado, miúdo e graúdo foram utilizadas. A influência destas duas fases sobre o concreto foi analisada, e confrontada com os dados fornecidos nos ensaios experimentais e da pesquisa bibliográfica.

Os modelos teóricos utilizados na pesquisa foram os apresentados na teoria dos materiais compósitos, que relacionam os módulos de elasticidade das fases (matriz de argamassa e agregado graúdo) e suas frações em volume, diferenciando-se entre si pelo tipo de arranjo estrutural adotado.

O modelo de Voigt, as fases são arrançadas segundo uma configuração em paralelo, impondo-se uma condição de deformação uniforme. No modelo de Reuss, as fases são arrançadas segundo uma configuração em série, impondo-se uma condição de tensão uniforme, Figura 1.



Figura 1 – Modelos de Voigt e Reuss.

Existe um modelo que é uma combinação dos dois anteriores, é o modelo de Hirsch, Figura 2.



Figura 2 - Modelo de Hirsch.

Foi desenvolvido um modelo, que considera o caso de um agregado prismático colocado no centro de um prisma de concreto, ambos tendo a mesma relação entre altura e área da seção transversal, Figura 3.



Figura 3 - Modelos de Couto.

Todos os modelos apresentados utilizam as mesmas variáveis que são:

- E_c - Módulo de elasticidade do concreto.
- E_{arg} - Módulo de elasticidade da argamassa.
- E_{agg} - Módulo de elasticidade do agregado graúdo.
- V_{agg} - Volume do agregado graúdo.

O volume de agregado graúdo foi obtido através do tipo de dosagem escolhida e dos materiais utilizados.

O valor do módulo de elasticidade do agregado graúdo natural, foi definido em relação à ensaios já realizados em rochas de mesmas características do material usado.

Para obtenção do valor do módulo de elasticidade do agregado graúdo reciclado, foi necessário fazer duas considerações. Através da análise visual deste material, constatou-se que existem dois tipos de partículas, uma são de agregados naturais com uma camada de argamassa aderida à sua superfície e outra de pedaços soltos de argamassa. Para o primeiro tipo de partícula foi usada uma expressão que relaciona duas fases entre si, uma de argamassa e outra de agregado natural, já para a outra, foram considerados os mesmos valores do módulo de elasticidade da argamassa. Também, comprovado pela análise visual, foi adotado que existe no agregado graúdo reciclado uma porcentagem de setenta por cento de agregados naturais com a camada de argamassa aderida, o resto são de pedaços soltos de argamassa.

Algumas pesquisas consultadas, citam a porcentagem de argamassa aderida ao agregado graúdo natural em função da dimensão deste agregado. Para este estudo, considerando as características do material usado, foi considerado que existe uma quantidade de trinta por cento de partículas de argamassa aderidas ao agregado natural.

A maior dificuldade foi como obter o valor do módulo de elasticidade da argamassa que seja representativo em relação ao existente na dosagem do concreto. A maneira escolhida para conseguir este valor, foi peneirar em uma

peneira com malha de abertura 4,8 mm uma parcela do concreto fresco, para reter a fração graúda, o que passou pelo peneiramento foi considerado argamassa, com este material foram moldados corpos de prova com altura de 100 mm e diâmetro de 50 mm e ensaiados.

Após o estudo da estrutura do concreto e das pesquisas estrangeiras, era esperado que a pesquisa teórica comprovasse que a utilização dos agregados reciclados, condicionam à uma diminuição no valor do módulo de elasticidade do concreto. Isto ficou comprovado por todos os modelos matemáticos usados.

Como a forma utilizada para comparar os resultados da pesquisa bibliográfica, teórica e experimental, são as relações entre os valores das propriedades do concreto reciclado pelo concreto natural de mesmas características, são apresentadas estas relações para a pesquisa teórica para o modelo de Hirsch, considerado o que mais perto chegou dos resultados esperados, Tabela 2.

Tabela 2 – Relação entre os módulos de elasticidade teóricos do concreto reciclado pelo natural.

<u>Dosagem</u>	1	2	3	4
<u>Relação</u>	1,0 (referência)	0,90	0,81	0,92

Analisando os resultados encontrados, pode-se concluir:

- comparando as relações entre as dosagens 1 e 2, é notado a grande influência que o agregado reciclado possui sobre o módulo de elasticidade do concreto, o valor da relação foi bem próxima à média das pesquisas estrangeiras.
- existe uma grande influência da fração miúda do material reciclado, bem maior do que a esperada.
- o maior decréscimo no valor do módulo de elasticidade, é para o nível total de substituição, como já era esperado.

6 PESQUISA EXPERIMENTAL

Todos os materiais utilizados foram caracterizados por ensaios normalizados, agregado e concreto, para comparação durante a análise dos resultados. Os traços utilizados para todas as dosagens (concreto natural e concretos reciclados) foram iguais, variando somente a composição dos agregados. Como parâmetro de controle foi escolhida a relação água/cimento que foi igual para todos os casos. Foi utilizado um estudo de dosagem feito no Laboratório do Departamento de Engenharia de Estruturas da Escola de Engenharia de São Carlos – EESC. Nas dosagens foi usado o cimento Potland CP II F 32.

O traço em massa possui a seguinte composição:

$$1 : 1,4 : 2,4 : a/c = 0,41$$

Após um teste piloto ficou claro que para as dosagens com agregados miúdos reciclados, seria necessário a utilização de aditivo. Foi utilizado um superplastificante na porcentagem de 1% sobre a massa de cimento, com correção da quantidade de água na dosagem. Obs: para dosagem 4 houve um excesso deste produto, mas para efeito de comparação com a dosagem 3 esta quantidade foi mantida.

7 ANÁLISE DOS RESULTADOS

7.1. Agregados

Na parte experimental foi notada uma grande diferença entre os agregados naturais e os reciclados, principalmente em relação à heterogeneidade do material.

Os agregados reciclados, conforme constatado na pesquisa bibliográfica, são muito influenciados pela argamassa, seja em pedaços ou aderida na superfície do

agregado graúdo natural. Devido esta argamassa, sua densidade é menor que a dos naturais, e o valor de absorção de água maior. Isto demonstra que estes materiais devem ser vistos como novos, ou seja, é necessário desenvolver uma técnica própria para sua utilização, pois suas propriedades influenciam muito as características do concreto, seja no estado fresco ou endurecido.

Comparando os resultados da análise experimental com os da pesquisa bibliográfica, é notada uma grande semelhança entre os valores obtidos para o material usado neste trabalho, e os encontrados pelos pesquisadores estrangeiros. Este fato é considerado de muita importância, pois mostra que os mesmos conceitos aplicados em outros países podem ser usados no Brasil.

7.2. Concreto

Os agregados reciclados, conforme já comentado anteriormente, apresentam uma absorção de água bem maior do que os naturais, além de possuírem uma granulometria bastante variada. Como já era esperado, as dosagens com agregados reciclados tiveram uma perda de trabalhabilidade em relação ao do concreto natural com mesmas características, acentuada quando foram usados ambos agregados reciclados, miúdo e graúdo.

Em relação ao agregado graúdo reciclado, existe uma grande quantidade de argamassa aderida ao agregado natural, além de pedaços soltos de argamassa. Isto influenciou muito o valor da densidade e do módulo de elasticidade do concreto. Conforme o nível de substituição por agregados reciclados aumentava, ocorreu um decréscimo destas propriedades.

Analisando os valores do ensaio de resistência à compressão para todas as dosagens, notou-se que a influência dos agregados graúdos reciclados foi menor do que para as outras propriedades. Mas existiu uma diminuição deste valor, quando foi usada a fração miúda.

Era esperado a existência de algumas partículas de cimento não hidratado, e que estas influenciariam a resistência à compressão. Na parte experimental, isto não foi comprovado quando a fração miúda foi utilizada, dosagens 3 e 4. Alguns

autores citam que a quantidade de partículas não hidratadas é tão pequena, em comparação ao volume de material que sua influência é mínima.

7.2.1. Resistência à compressão

Analisando a pesquisa bibliográfica referente ao estudo da estrutura do concreto, é notado que a influência do agregado graúdo em sua resistência é o fator menos importante. A porosidade da matriz e as características da zona de transição são consideradas as fases mais significativas, e as com maior grau de influência na sua resistência.

A maioria das pesquisas consultadas, falam da importância das características do resíduo de concreto para a resistência à compressão do concreto reciclado.

Resíduos provenientes de concretos de baixa resistência, ou que são frutos da composição de vários sobras, de concretos de resistência variada, podem ocasionar no concreto reciclado um valor de resistência mais baixo do que o esperado.

Os resíduos usados neste trabalho foram provenientes de um concreto com mesma resistência das dosagens dos concretos reciclados, ou seja, é um material com boa qualidade. Nos artigos consultados quando se utiliza somente a fração graúda do agregado reciclado, para resíduos de boa qualidade a resistência do concreto reciclado é aproximadamente igual ao do concreto original, já para outros tipos de substituições existe uma pequena variação.

Os concretos deste estudo foram ensaiados com a idade de 28 dias e os resultados da resistência à compressão são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Resistência à compressão do concreto reciclado e do natural.

<u>Propriedade</u>	<u>Dosagem</u>			
	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>4</u>
<u>Resistência à Compressão (MPa)</u>	48	49	46	43
<u>Relação (Reciclado/Natural)</u>	1,0	1,02	0,96	0,90
<u>Relação - Bibliografia (Reciclado/Natural)</u>	1,0	1,00	0,8 a 0,9	-

Analisando os resultados encontrados na parte experimental deste trabalho, com os apresentados na pesquisa bibliográfica pode-se concluir:

- A utilização da fração graúda do material reciclado, em média praticamente não condiciona à uma perda de resistência. Podendo conferir valores até maiores que do material natural. É claro, como comprovado na pesquisa bibliográfica, isto vai depender da qualidade do resíduo.
- Em algumas pesquisas estrangeiras, o valor da resistência à compressão do concreto reciclado teve uma diminuição considerável em relação à encontrada na parte experimental deste trabalho. A explicação para este fato, é que estes pesquisadores utilizaram em suas pesquisas como parâmetro de controle de suas misturas, o abatimento do tronco de cone, e não a relação água/cimento. Como o concreto reciclado para ter a mesma trabalhabilidade do natural, é necessário possuir mais água em sua mistura, nestas pesquisas a relação água/cimento para o concreto reciclado ficou maior que a do concreto natural, e assim sua resistência diminuiu.
- Existiu uma diminuição da resistência com a utilização da fração miúda do material reciclado, e que sua influência é maior do que a fração graúda do material, comprovado também diversos autores.
- A dosagem 4, que teve um excesso de aditivo ficou com o menor valor da resistência à compressão na parte experimental deste estudo.

Os resultados obtidos para esta propriedade neste trabalho, foram satisfatórios e estão dentro da ordem de grandeza dos encontrados nas pesquisas estrangeiras. É claro que mais ensaios precisam ser realizados, para analisar outras influências sobre o concreto reciclado, como, consumo de cimento, qualidade do resíduo, idade e tempo de armazenamento deste material e influência do tipo de agregado gráúdo natural, isto ocorrerá com o tempo e conforme seja realizado o material será melhor compreendido e aproveitado.

7.2.2. Módulo de Elasticidade

No estudo da estrutura do concreto, foi apresentada a influência que a fase agregado possui sobre o valor do módulo de elasticidade do concreto. Como esta fase é a que têm a maior rigidez, é ela que controla as variações de volume da matriz de argamassa.

Na fase experimental, como era de se esperar, existiu uma grande influência dos agregados reciclados no valor do módulo de elasticidade do concreto, houve uma diminuição de seu valor proporcional ao aumento do grau de substituição do agregado natural, Tabela 4.

A influência do agregado nesta propriedade, também foi comprovada quando são analisados os resultados da dosagem 2 com a primeira. A resistência à compressão da dosagem com agregados gráúdos reciclados ficou até maior que a do concreto natural, mas o valor de seu módulo de elasticidade ficou oitenta e nove por cento desta.

Tabela 4 – Módulo de Elasticidade do concreto reciclado e do natural.

<u>Propriedade</u>	<u>Dosagem</u>			
	1	2	3	4
<u>Módulo de Elasticidade (GPa)</u>	37,3	33,2	28,7	33,2
<u>Relação - Experimental (Reciclado/Natural)</u>	,0	0,89	0,77	0,89
<u>Relação - Teórica (Reciclado/Natural)</u>	1,0	0,90	0,81	0,92
<u>Relação - Bibliografia (Reciclado/Natural)</u>	1,0	0,7 a 0,9	0,6 a 0,7	-

Analisando os resultados encontrados na parte experimental e teórica deste trabalho, com os fornecidos da pesquisa bibliográfica, pode-se concluir:

- O aumento da composição de agregados reciclados no concreto, diminui o valor do módulo de elasticidade.
- Foi comprovado por todas as pesquisas feitas, bibliográfica, teórica e experimental, que existe uma grande influência do agregado graúdo reciclado no valor do módulo de elasticidade, e que a fração miúda possui uma influência muito maior do que a esperada.
- É considerado que a ordem de grandeza dos resultados encontrados para todas as pesquisas, teórica, experimental e bibliográfica são semelhantes, e que os mesmos conceitos aplicados nos estudos estrangeiros podem ser usados no Brasil.

8 Conclusões

Existe uma grande influência na utilização dos agregados reciclados sobre as propriedades do concreto. É um novo material que precisa ser melhor conhecido. Os conceitos apresentados nas pesquisas estrangeiras são semelhantes aos encontrados na pesquisa experimental e teórica deste trabalho.

A fração miúda do material reciclado, teve uma influência maior do que a esperada nas propriedades do concreto, principalmente no módulo de elasticidade.

Existe a viabilidade técnica do material, mas mais estudos precisam ser realizados para o entendimento de suas propriedades.

9 Referências

BARR, B. I. G. ; LYDON, F. D. ; ZHOU, F. P. (1995). **Effect of coarse aggregate on elastic modulus and compressive strength of high performance concrete.** *Cement and Concrete Research.* v.25, n.1, p.177-186.

HANSEN, T. C. (1985). **Recycled aggregates and recycled aggregate concrete, second state of the art report developments 1945-1985.** RILEN Technical Committee -37- DRC.

GONÇALVES, R. D. C. (2001). **Agregados reciclados de resíduos de concreto – Um novo material para dosagens estruturais.** 132p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo.

RAVINDRARAJAH, R. S. ; LOO, Y.H. ; TAM, T.C. (1987). **Recycled concrete as fine and coarse aggregates in concrete.** *Magazine of Concrete Reserch.* v.39, n. 141, p.214-220, December.