

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM CONTRUÇÃO CIVIL

Monografia

**“RECICLAGEM DE RESÍDUOS PRODUZIDOS POR CENTRAL DE
CONCRETO”**

Autor: André Luiz Candian

Orientador: José Cláudio Nogueira Vieira

Janeiro/2010

ANDRÉ LUIZ CANDIAN

“RECICLAGEM DE RESÍDUOS PRODUZIDOS POR CENTRAL DE CONCRETO”

Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Construção Civil
da Escola de Engenharia UFMG

Ênfase: Materiais para construção civil
Orientador: José Claudio Nogueira Vieira

Belo Horizonte
Escola de Engenharia da UFMG
2010

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.	8
2. OBJETIVO.	10
3. REVISÃO BIBLIOGRAFICA.	11
3.1. <i>Definições.</i>	11
3.2. <i>Histórico.</i>	11
3.3. <i>A produção de resíduos em uma central de concreto.</i>	12
3.3.1. <i>Lavagem dos caminhões betoneira e bomba de concreto na central.</i>	15
3.3.2. <i>Corpos-de-provas rompidos.</i>	15
3.4. <i>A reciclagem dos resíduos da central de concreto.</i>	15
3.4.1. <i>Vantagens do beneficiamento e suas utilizações</i>	15
3.4.2. <i>Usina de reciclagem de resíduos da central de concreto.</i>	16
3.4.3. <i>Levantamento das quantidades de resíduos produzidos.</i>	19
3.5. <i>Propriedades dos agregados reciclados.</i>	20
3.5.1. <i>Composição.</i>	21
3.5.2. <i>Granulometria.</i>	21
3.5.3. <i>Massa específica e massa unitária.</i>	21
3.5.4. <i>Porosidade e absorção de água.</i>	22
3.6. <i>Concretos com agregados reciclados.</i>	22
3.6.1. <i>Massa Específica.</i>	22
3.6.2. <i>Trabalhabilidade e relação água cimento.</i>	23
3.6.3. <i>Resistência à compressão.</i>	23
4. PROGRAMA EXPERIMENTAL	24
4.1. <i>Metodologia aplicada.</i>	24
4.2. <i>Materiais utilizados.</i>	24
4.2.1. <i>Agregados reciclados</i>	24
4.2.2. <i>Agregados convencionais.</i>	24
4.2.3. <i>Cimento.</i>	24
4.3. <i>Métodos empregados.</i>	24
4.3.1. <i>Agregados.</i>	24
4.3.1.1 <i>Amostragem</i>	25

4.3.1.2. Caracterização granulométrica	25
4.3.1.3. Massa específica aparente e massa unitária	26
4.3.1.4. Material pulverulento.....	26
4.3.2 Confeção dos concretos.	26
5. RESULTADOS	27
5.1. Agregados.....	27
5.1.1. Caracterização qualitativa do resíduo.	27
5.1.2. Caracterização granulométrica.	27
5.1.2.1. Agregado miúdo.	28
5.1.2.2. Agregado graúdo.	30
5.1.3. Massa específica e massa unitária.....	31
5.1.5. Material pulverulento.....	32
5.1.5. Comparativo entre o agregado reciclado e agregado convencional.....	32
5.2. Produção de concreto.....	33
5.2.1. Dosagem e mistura	33
5.2.2. Traços obtidos	33
5.2.2.1. Família de traços com agregado convencional	34
5.2.2.2. Família de traços com agregados reciclados	35
5.2.2.3. Comparativo dos consumos de matéria-prima.....	36
5.2.2.4. Comparativo do ganho de resistência.	38
5.2.3. Massa específica.....	40
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	41
7. BIBLIOGRAFIA	43

Lista de figuras

Figura 1: Lavagem do caminhão betoneira na caixa de decantação da central de concreto da Pedreira Um Valemix de Santana do Paraíso – MG.....	13
Figura 2: Limpeza da caixa de decantação por meio de uma pá carregadeira..	14
Figura 3: Secagem ao sol dos resíduos retirados das caixas de decantação.....	14
Figura 4: Linha de britagem instalada na central de concreto da Pedreira Um Valemix de Santana do Paraíso – MG.....	18
Figura 5: Agregado reciclado após ser britado e peneirado.....	18

Lista de gráficos

Gráfico 1: Curva granulométrica do agregado miúdo reciclado..	29
Gráfico 2: Curva granulométrica do agregado graúdo reciclado.....	31
Gráfico 3: Gráfico comparativo do consumo de cimento entre os concretos convencional e misto.....	37
Gráfico 4: comparativo do ganho de resistência até aos 28 dias, entre o concreto convencional e concreto Misto com relação $a/c=0,55$	38
Gráfico 5: Comparativo do ganho de resistência até aos 28 dias, entre o concreto Convencional e concreto Misto.....	39
Gráfico 6: Comparativo do ganho de resistência até aos 28 dias, entre o concreto Convencional e concreto Misto.....	39

Lista de Tabelas

Tabela 1: Umidade das amostras de resíduos	19
Tabela2: Distribuição granulométrica do agregado miúdo reciclado	28
Tabela3: Distribuição granulométrica do agregado graúdo reciclado	30
Tabela 4: Comparativos entre o agregado convencional e agregado reciclado	32
Tabela 5: Tabela com os dados de desenvolvimento do traço do concreto convencional (Fonte : Laboratório de Materiais da Pedreira Um Valemix)	34
Tabela 6: Tabela com os dados de desenvolvimento do traço do concreto Misto (Fonte: Laboratório de Materiais da Pedreira Um Valemix)	35
Tabela 7: Consumo de matéria-prima dos concretos com agregados convencionais	36
Tabela 8: Consumo de matéria-prima dos concretos com 50% agregados convencional e 50% agregado reciclado.	36
Tabela 9: Massa específica dos concreto convencional e do concreto misto.....	40

RESUMO

Os resíduos produzidos pelas centrais de concreto, na grande maioria são destinados para aterros e bota-foras licenciados ambientalmente ou não. Reciclar esses resíduos torna-se uma alternativa para minimizar os problemas de sua gestão. Ao mesmo tempo, esse material vem se mostrando com de grande potencial na construção civil, onde se reciclado, pode ser utilizado na confecção de diversos artefatos pré-moldados, além de poder ser utilizado também em obras de pavimentação ou em obras que demandam concretos com baixas resistências mecânicas.

Os resíduos produzidos nas centrais de concreto são oriundos das sobras que retornam nos caminhões betoneira e bombas de concreto e que são depositados nas caixas de decantação como também são oriundos de corpos-de-prova rompidos e sobras de concreto do laboratório. O presente trabalho propõe a reciclagem desses resíduos, através de um processo de britagem, transformando-os em agregados e reutilizando na confecção de novos concretos.

A tecnologia da reciclagem deste resíduo, no entanto, é recente precisa ser consolidada, principalmente tendo em vista as particularidades deste entulho. Esta pesquisa veio, dessa forma, contribuir para a análise de fatores intervenientes no processo de reciclagem e na ampliação dos conhecimentos sobre os materiais confeccionados com agregados reciclados.

PALAVRAS-CHAVE

Concreto - Entulho - Reciclagem - Resíduos - Durabilidade – Custo - Concreteiras

1. INTRODUÇÃO

Com o expressivo aumento da produção da indústria da construção civil no Brasil nos últimos anos, a demanda por materiais de construção como também pela exploração de recursos naturais vem crescendo no mesmo ritmo.

O concreto, por sua vez, é o material de construção mais consumido no mundo. Estima-se que o consumo atual de concreto no mundo seja da ordem de 11 bilhões de toneladas métricas ao ano (METHA, 2008). Grande desse volume é produzido por centrais dosadoras e transportado em caminhões betoneiras.

E como toda indústria, as centrais de concreto usinado também geram grandes quantidades de resíduos e que muitas das vezes não recebem sua devida destinação. Outro fator relevante é o custo que se gera para transportar esse material da central até o ponto de descarte, impactando dessa forma no custo final do concreto.

Com isso, a correta destinação dos resíduos produzidos pelas centrais de concreto está cada vez mais presente nas discussões ambientais, administrativa e financeira das empresas de concreto usinado.

Para VÁZQUEZ (2001), a Construção Sustentável baseia-se *“na prevenção e redução dos resíduos pelo desenvolvimento de tecnologias limpas, no uso de materiais recicláveis ou reutilizáveis, no uso dos resíduos como materiais secundários e na coleta e deposição inerte. Portanto devem ser tomadas medidas que transformem as correntes de resíduos em recursos reutilizáveis”*.

A forma proposta pelo presente trabalho, para minimizar os impactos ambientais e financeiros, é a reciclagem do resíduo de concreto na própria central. Uma promissora adoção nos sistemas de qualidade que, além da redução de volume enviado aos botaforas, os resíduos, usados como agregados reciclados, contribuem para limpeza da central de concreto e redução de custos na compra de material e na mão-de-obra.

O resíduo da caixa de decantação, material proveniente da lavagem dos caminhões betoneiras durante o processo de confecção ou após a execução da concretagem, pode ser reciclado de forma a ser processado num britador e clasificado em distintas faixas granulométricas na própria central e aplicado em argamassas e concretos sem função estrutural ou ainda, adicionados em pequenas frações aos concretos convencionais para estruturas de baixas solicitações. O material pode comumente ser utilizado em concretos para contra-piso, calçadas e drenos.

Dessa forma, o estudo do desempenho de concretos confeccionados a partir de agregados reciclados, avaliando as características mecânicas e a durabilidade, é de fundamental importância para que o uso destes materiais seja realizado de forma consciente e seguro.

2. OBJETIVOS

Este trabalho tem por objetivo geral, dissertar sobre a viabilidade técnica da utilização de agregados obtidos a partir da reciclagem dos resíduos oriundos da central de concreto da Pedreira Um Valemix de Santana do Paraíso, MG, como alternativa ao descarte em aterro e bota-foras.

Como objetivos específicos este trabalho direciona-se em:

- Analisar as características físicas dos agregados reciclados produzidos pela usina de concreto da Pedreira Um Valemix, situada em Santana do Paraíso, MG;
- Avaliar o desempenho mecânico entre concretos confeccionados com agregados convencionais e concretos com agregados reciclados, estudando diferentes composições de traços e relações água/aglomerante;

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Definições

Apesar de haverem diversas pesquisas sobre a utilização de entulho de construção como agregado para concreto, não se tem conhecimento de pesquisas que utilizem os resíduos gerados por centrais de concreto com mesma finalidade.

A seguir, apresentam-se as definições de alguns termos e expressões utilizados neste trabalho:

- **Entulho gerado na caixa de decantação da central de concreto:** resíduos sólidos, provenientes das atividades de execução de concretagem. Basicamente composto por: cimento, areia (natural/artificial), brita, aditivo, água. (na forma de concreto ou argamassa).
- **Agregado Convencional:** agregado comumente utilizado em concretos e argamassas, agregado de origem natural, como areia de rio e pedra britada, por exemplo.
- **Agregado Reciclado:** agregado proveniente de algum processo de reciclagem.
- **Concreto Convencional:** concreto confeccionado somente com agregados convencionais.
- **Concreto Misto:** concreto onde as frações de agregados graúdo e miúdo são compostas por agregados convencionais e reciclados.

3.2. Histórico

O reaproveitamento de resíduos industriais pela indústria da construção não é algo recente. Subprodutos do carvão, como as cinzas volantes, têm sido usadas extensivamente no concreto de cimento Portland, há aproximadamente 50 anos, segundo KELLY e WILLIAMS (1995).

A utilização significativa de resíduos reciclado deu-se a partir de 1946, onde a Alemanha, que com o final da Segunda Guerra, tinha milhares de escombros espalhados por suas cidades. A falta de locais de destino para os resíduos e a urgência de agregados

para a reconstrução das cidades, fizeram com que esse país utilizasse o entulho britado como agregado na produção de novos concretos (SCHULZ e HENDRICKS, 1992; apud LEITE, 2001)

Na década de 80, HANSEN e NARUD (1983), e HANSEN e BÆ EGH (1985), começaram a pesquisar a resistência de concreto feito a partir de agregado reciclados. No final da mesma década, YODA et al. (1988), apresentaram trabalhos sobre o assunto no 2o RILEM - Simpósio Internacional sobre Demolição e Reuso de Concreto e Alvenaria, em Tokyo, Japão.

No Brasil, o assunto começou ser tema de pesquisas em meados dos anos 80, com PINTO (1986), que prossegue com estudos sobre o assunto. LEVY e HELENE (1995 e 1996), e HAMASSAKI, SBRIGHI e FLORINDO (1996), apresentaram trabalhos sobre a reciclagem de entulho, onde analisam seu uso na confecção de argamassas.

3.3. A produção de resíduos em uma central de concreto.

Os resíduos produzidos por uma central de concreto são gerados pelos seguintes processos:

3.3.1. Lavagem dos caminhões betoneira e bomba de concreto nas caixas de decantação.

Após o término da concretagem, a sobra de concreto que fica no interior da cuba do caminhão betoneira e no coxo da bomba de concreto é trazido para central e depositado nas caixas de decantação.



Figura 1: Lavagem do caminhão betoneira na caixa de decantação da central de concreto da Pedreira Um Valemix de Santana do Paraíso – MG.

Periodicamente, o material que fica depositado no fundo da caixa de decantação e retirado por meio de uma pá carregadeira e posto para secar ao sol.



Figura 2: Limpeza da caixa de decantação por meio de uma pá carregadeira



Figura 3: Secagem ao sol dos resíduos retirados das caixas de decantação.

3.3.2. Corpos-de-prova rompidos:

Outro resíduo produzido pelas Centrais de concreto são os corpos-de-prova rompidos. Geralmente são utilizados para confecção de muros ou em jardinagem, porém tais utilizações ocorrem com baixa frequência.

3.4. A Reciclagem dos Resíduos de Central de concreto.

Para que seja possível a utilização dos resíduos produzidos pelas centrais de concreto, como agregado, se faz necessário que o material passe por um processo de beneficiamento..

3.4.1. Vantagens do beneficiamento e suas utilizações.

O beneficiamento (britagem e peneiramento) do resíduo da sobra de concreto, devem ser dispostas conjuntas e próximas a central de mistura de concretos e argamassas, evitando assim o transporte desnecessário entre os processos.

Além das melhorias relativas ao Meio Ambiente, a gestão da reciclagem nas centrais de concreto traz boas vantagens econômicas. Tem-se assim:

- a diminuição do volume de entulho enviado aos bota-foras, que perfaz na redução de custos com a remoção;
- central mais organizada e limpa;
- redução da aquisição de material agregado;

Os agregados reciclados possuem boa potencialidade de uso na obra, a partir de PINTO (2000) cita-se algumas utilizações mais comuns:

- aterramento de valas e reconstituição de terreno;
- confecção de meio fio;
- execução de estacas ou sapatas para muros com pequenas solicitações;
- lastro e contrapiso em áreas comuns externas e passeio público;
- contrapiso interno às unidades habitacionais;

- contrapiso ou enchimento em casa de máquinas a áreas comuns internas;
- sistema de drenagem em estacionamentos, poços de elevadores e floreiras;
- vergas e pequenas colunas de concreto com baixa solicitação;
- assentamento de blocos e tijolos não estruturais;
- enchimentos em alvenarias, lajes e esquadrias;
- chumbamentos de batentes, contramarcos e esquadrias e;
- revestimentos internos e externos em alvenaria.

3.4.2. Usinas de Reciclagem de Resíduos de central de concreto.

São diversos os tipos de equipamentos para britagem disponíveis no mercado. Os mais comuns utilizados pelas pedreiras para produção de agregados para concreto são os britadores de mandíbula, britadores de cone, britadores de impacto e britadores de martelo com diversos tamanhos e capacidade de produção. Nos quadros abaixo, se descreve as principais características dos britadores usuais das usinas brasileiras a partir de LIMA (1999) e LEITE (2001).

Britador de Mandíbulas

Características

Dotado de câmara de britagem onde o material é rompido por compressão (literalmente mastigado). Não reduz em muito as dimensões dos grãos, gerando alta porcentagem de graúdos.

Vantagens

Baixo custo de manutenção; melhores curvas granulométricas; agregados mais adequados para o uso em concretos.

Desvantagens

Necessidade de britagem secundária para maior geração de finos; menor produtividade que os britadores de impacto; alta emissão de ruído; grãos lamelares, com linhas de fratura muito pronunciadas, que podem gerar pontos fracos nas aplicações.

Britador de Impacto

Características

Agregados britados pelo choque com martelos maciços fixados a um rotor e com placas fixas de impacto. Britador mais empregado nas recicladoras, pois atende à várias especificações, utilizado em britagem primária e secundária; fornece grãos com granulometria mais adequada para obras de pavimentação.

Vantagens

Processa peças de concreto armado ou madeira; alta redução das peças britadas; geração de grãos cúbicos de boas características mecânicas; baixa emissão de ruídos.

Desvantagens

Alto custo de manutenção, com trocas periódicas de martelos e placas;

Moinho de Martelos

Características

Sistema de ruptura semelhante aos britadores de impacto, pelo impacto de martelos e placas fixas; entrada de material relativamente pequena; geração de alta porcentagem de miúdos, possui grelha na abertura de saída, o que impede que materiais graúdos saiam da câmara; utilizados em geral como britador secundário conjuntamente com o de mandíbulas.

Vantagens

Boa geração de finos.

Desvantagens

Necessitam de material proveniente de britagem primária; baixa produção; com a retirada da grelha obtêm-se também graúdos, porém com baixa geração destes.

A instalação de britagem utilizado no presente trabalho, encontra-se instalado no pátio da central de concreto da Pedreira Um Valemix de Santana do Paraíso, possui como britador primário um britador de Mandíbulas modelo 80x13 e como britador secundário um britador tipo cone 60S. A instalação também é composta pelas peneiras de # 19,0 mm e # 4,8mm que são agitadas mecanicamente e tem com finalidade classificar o material como uma agregado graúdo e um agregado miúdo.



Figura 4: Linha de britagem instalada na central de concreto da Pedreira Um Valemix de Santana do Paraíso – MG.



Figura 5: Agregado reciclado após ser britado e peneirado

3.4.3. Levantamento das quantidades de resíduos produzidos por uma central de concreto.

A quantidade de resíduo gerado por uma central de concreto é diretamente proporcional ao volume de concreto produzido, num mesmo período. O presente trabalho levantou essa quantidade comparando o volume de resíduo gerado com o volume de concreto produzido no período de seis dias, ou seja, de segunda a sábado.

Devido ao custo do aparato logística empregado para tal medição, foi feito somente uma leitura, deixando em dúvida a exatidão do resultado de quantidade de resíduo gerado por metro cúbico de concreto produzido.

Para realizar o levantamento do quantitativo de resíduo gerado, o primeiro passo foi fazer a total limpeza das caixas de decantação anterior ao período de medição, para que somente seja contabilizado o peso dos resíduos gerados pelo volume de concreto naquele período. O volume de concreto produzido pela central da Pedreira Um Valemix no mesmo período foi de 465,5 m³.

No final do expediente de sábado, foi feita uma nova limpeza da caixa de decantação e o material depositado separadamente ao sol para perder o excesso de água, e posteriormente pesado. Foram somados ao peso dos resíduo retirados da caixa de decantação, os corpos-de-prova moldados nessa mesma semana.

Após perder o excesso de água, o material foi transportado por caminhões caçamba até uma balança rodovia, também instalada no pátio da Pedreira Um Valemix e o valor total obtido úmido foi de 60,720 toneladas. Sua umidade foi determinada, recolhendo três amostras, conforme tabela abaixo.

Amostra	Umidade
1	22,0%
2	21,5%
3	21,1%
Média	21,5%

Tabela 1: Umidade das amostras de resíduos

Temos:

$$P_{\text{resíduos seco}} = P_{\text{resíduos úmido}} / (1 + \text{umidade})$$

$$P_{\text{resíduos úmido}} = 60,720 \text{ ton}$$

$$\text{Umidade} = 21,5\%$$

Então:

$$P_{\text{resíduos seco}} = 60,720 / (1 + 21) \quad \Rightarrow \quad P_{\text{resíduos seco}} = \mathbf{49,975 \text{ ton}}$$

Tendo como peso específico médio do concreto fresco de 2,300 ton/m³ o peso de concreto produzido no mesmo período é de:

$$P_{\text{concreto}} = 2,300 * 465,5 \quad \Rightarrow \quad P_{\text{concreto}} = \mathbf{1070,650 \text{ ton}}$$

Portanto o percentual de resíduos gerados por volume de concreto produzido é de:

$$\% \text{ Resíduos} = (P_{\text{resíduos seco}} / P_{\text{concreto}}) * 100\%$$

$$\% \text{ Resíduos} = (49,975 / 1070,650) * 100\% \quad \Rightarrow \quad \% \text{ resíduos} = \mathbf{4,7 \%}$$

Ou seja, podemos estimar que 4,7% do volume de concreto produzido por uma central transforma-se em resíduos.

3.5. Propriedades dos Agregados Reciclados

A relevância dos agregados para concreto não está só do ponto de vista econômico, mas também da durabilidade e desempenho estrutural. Os agregados na realidade não são materiais totalmente inertes, e suas propriedades, físicas e químicas, têm muita influência sobre suas largas aplicações (NEVILLE, 1997).

Para MEHTA e MONTEIRO (2008), além das importantes propriedades no concreto endurecido, os agregados têm também papel fundamental na determinação do custo e da trabalhabilidade das misturas de concreto, tendo assim grande relevância sua abordagem.

Ainda MEHTA e MONTEIRO (2008) expõem que, para a tecnologia do concreto se incluem como características importantes dos agregados: porosidade, composição,

granulometria, absorção de água, forma e textura superficial das partículas, resistência à compressão, módulo de elasticidade e os tipos de substâncias deletérias.

Na análise da utilização de agregados para produção de concreto, todas estas características devem ser consideradas, com destaque quando se estudam novos materiais, como é o caso do agregado reciclado. Pois, a viabilidade de seu emprego dependerá do total conhecimento do seu comportamento na estrutura do concreto.

3.5.1. Composição

Os agregados reciclados, de uma forma geral, são compostos por materiais minerais inertes como argamassas, concretos, pedras britadas providas de concreto, onde as argamassas e concretos são predominantes na composição.

Os componentes presentes nos agregados reciclados determinam muitas de suas propriedades, tais como resistência mecânica, absorção de água e massa específica. (LIMA, 1999). Alterando de forma direta os novos produtos confeccionados com este material.

3.5.2. Granulometria

Influenciando a trabalhabilidade, o consumo de cimento e a resistência mecânica, a granulometria é obtida por procedimentos simples nos laboratórios, é um importante item na dosagem de concretos.

Após a britagem, o agregado reciclado passou pelas #19,0mm e #4,8mm, obtendo dessa forma um agregado graúdo e um miúdo.

3.5.3. Massa Específica e Massa Unitária

Para os agregados naturais, a massa específica aparente está entre 2,60 a 2,70 Kg/dm³, e a unitária entre 1,30 a 1,75 Kg/dm³ (MEHTA e MONTEIRO, 2008); já os agregados reciclados tem-se uma faixa diferente a dos naturais, variando muito em função da composição do agregado. Essa variação pode ser explicada pela porosidade

do material. tendo assim dada importância a ser considerada nos resultados esperados. Para LEITE (2001), conhecer as massas específica e unitária dos agregados é necessário para os estudos de dosagem dos concretos.

3.5.4. Porosidade e Absorção de água

Para os agregados naturais, a taxa de absorção de água não tem certa relevância, pois na prática estes apresentam pouca ou nenhuma porosidade. Os reciclados, pelo contrário, apresentam considerável porosidade e deste modo altas taxas de absorção de água. Tal absorção tem influencia direta na permeabilidade concreto confeccionado com agregado reciclado, com também na aderência entre a pasta e o agregado e na resistência a compressão e abrasão.

3.6. Concretos com Agregados Reciclados

O conhecimento das propriedades no estado fresco e endurecido do concreto confeccionado com agregados reciclados é de fundamental importância para determinação de suas aplicabilidades.

Foram determinados as massas específicas, as trabalhabilidades e as resistências a compressão tanto dos concretos mistos, ou seja, com agregado convencional e reciclados quanto dos concretos elaborados com a totalidade de seus agregados convencionais.

3.6.1. Massa Específica

O concreto composto com metade dos seus agregados reciclados obteve menor massa específica e comparação com o concreto convencional, o concreto reciclado apresenta menor massa do que os convencionais, e ainda uma quantidade maior de vazios incorporados ao concreto com este material. A massa específica do agregado influencia de forma direta na massa específica do concreto (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

3.6.2. Trabalhabilidade e relação água/cimento

A quantidade de água para uma dada consistência depende em muito das características do agregado (MEHTA e MONTEIRO, 2008); com isso, concretos reciclados tendem a apresentar menor trabalhabilidade do que concretos convencionais de mesmo traço, requerendo maior quantidade de água na mistura para obter a mesma trabalhabilidade.

No concreto com agregado reciclado, a trabalhabilidade em muito é afetada pela granulometria e pela forma e textura dos grãos. Já o consumo de água está diretamente ligado à absorção/porosidade do agregado.

3.6.3. Resistência à Compressão

Uma das mais importantes características a serem analisadas é a resistência à compressão axial. Desta, pode-se correlacionar a outras propriedades do concreto, tais como resistência à tração e à abrasão e módulo de elasticidade.

Em concretos com agregados convencionais, densos e resistentes, esta propriedade é basicamente influenciada pela porosidade da matriz e da zona de transição. Já com concretos reciclados a ruptura também se faz nos agregados, as resistências à compressão desses concretos tendem a serem inferiores a dos convencionais.

Essa diferença de resistência à compressão, entre o reciclado e o convencional, se atenua quando são comparados concretos com baixo consumo de cimento.

4. PROGRAMA EXPERIMENTAL

4.1. Metodologia Aplicada

Neste trabalho, a durabilidade e o desempenho mecânico entre concretos com agregados reciclados e concretos com agregados convencionais, foram avaliados a partir da resistência à compressão.

4.2. Materiais Utilizados

4.2.1. Agregados Reciclados

Todo o material agregado reciclado deste trabalho foi obtido na central de concreto da Pedreira Um Valemix, em Santana do Paraíso, proveniente da caixa de decantação utilizado para lavagem das betoneiras após a descarga na obra do concreto e de resíduo de laboratório. A usina processa material para a confecção de concreto em duas frações granulométricas que se assemelham ao pó de pedra e brita 1. Na confecção dos corpos-de-prova, o pó de pedra reciclado foi utilizado como agregado miúdo e a fração reciclada semelhante à brita 1 como agregado graúdo.

4.2.2. Agregados Convencionais

Como agregado miúdo utilizou-se a areia natural do Rio Santo Antônio, beneficiada na cidade do Naque, e para o agregado graúdo gnaisse britado na malha de # 19 mm da Pedreira Um Valemix, localizada em Timóteo.

4.2.3. Cimento

O cimento utilizado nos estudos foi da classe CPV ARI RS da Holcim, Pedro Leopoldo.

4.3. Métodos Empregados

4.3.1. Agregados

4.3.1.1. Amostragem

- **Agregados convencionais**

Para os agregados seguiram-se as recomendações da *NBR 9941/87 - “Redução de amostra de campo de agregados para ensaio de laboratório”*, coletados nas baias dispostas da central de concreto da Pedreira Um Valemix.

- **Agregados Reciclados**

As amostras dos agregados reciclados foram obtidas na planta piloto de reciclagem de entulho da Pedreira Um Valemix Ltda, Santana do Paraíso, MG. Coletadas nas pilhas do resíduo triturado, seguindo as prescrições da *NBR 10007/87 - “Amostragem de Resíduos”* que fixa as condições exigíveis para amostragem, preservação e estocagem de resíduos sólidos.

4.3.1.2. Caracterização granulométrica

A análise da granulometria das amostras de agregado reciclado e agregado convencional, foram realizadas segundo a *NBR 7217/87 - “Agregado - Determinação da Composição Granulométrica”*, que prescreve o método para determinação da composição granulométrica de agregados miúdos e graúdos, destinados ao preparo do concreto.

4.3.1.3. Massa específica aparente e massa unitária

- **Massa Unitária**

A determinação das massas unitárias dos agregados miúdo e graúdo seguiu as prescrições da *NBR 7251/82 - “Agregado em estado solto – determinação da massa unitária”*.

- **Massa Específica**
Agregados Miúdos

Para os agregados miúdos e graúdos obteve-se a massa específica pela *NBR 9776/87 – “Agregados - determinação da massa específica e agregados miúdos por meio do frasco de Chapman”*.

4.3.1.4. Material pulverulento

A porcentagem de material pulverulento no agregado miúdo foi obtida conforme a *NBR 7219/87 – “Agregados – determinação do teor de materiais pulverulentos”*.

4.3.2. Confeção dos Concretos

Foram feitos ensaios de dosagem experimental baseado no método da ABCP e adaptado pelo Professor Lauro Gontijo (UFV).

As amostras de concreto foram utilizadas nos estudo da resistência à compressão. Na determinação das resistências à compressão axial seguiu-se as orientações da *NBR 5739/80 - “Concreto - ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos de concreto – método de ensaio”*. Foi realizado ensaio analisando as resistências características aos 3, 7 e 28 dias, onde em cada idade ensaiou-se 2 corpos-de-prova cilíndricos de 10x20 cm para cada amostra, perfazendo num total de 6 corpos-de-prova para cada relação água/cimento.

Foram confeccionado duas família de traços com relação a/c igual a 0,55 , 0,70 e 0,85 uma utilizando somente os agregados convencionais e outra utilizando 50% de agregados convencionais e 50% de agregados reciclados.

5. RESULTADOS

5.1. Agregados

5.1.1. Caracterização qualitativa do resíduo

A caracterização da constituição do agregado graúdo reciclado foi realizada em cada amostra, coletada na usina e também com a amostra final, composta esta pela homogeneização das cinco amostras, realizada manualmente no pátio do laboratório da central da Pedreira Um Valemix.

O processo de homogeneização de cada material, tanto do agregado miúdo quanto do graúdo armazenados em tambores, foi executado espalhando-os pelo pátio e em seguida misturados com auxílio de pás e enxadas.

O material foi obtido de acordo com o quarteamento da NBR 9941, retirando-se uma amostra de aproximadamente 5 Kg e lavado-a em peneira de malha # 4,8 mm, e após 24 horas em estufa a 110 °C, o material foi separado nas frações, seguindo a classificação proposta por ZORDAN (1997):

- **concreto e argamassa:** toda parcela constituída por material aglomerante e agregado, podendo ser somente miúdo (argamassa) ou também com a presença de agregado graúdo (concreto)

5.1.2. Caracterização Granulométrica

Foram analisadas as curvas granulométricas de cada amostra coletada, da amostra final homogeneizada, da areia natural e da brita de gnaísse. Em específico ao agregado graúdo verificou-se a dimensão máxima característica e ao miúdo o módulo de finura. Para este ensaio seguiu-se a NBR 7217 descrita em 4.3.1.3, utilizando as peneiras de série normal e intermediária.

5.1.2.1. Agregado Miúdo

Material: Agregado Miúdo reciclado

Procedência: Resíduos gerados pela Central de concreto da Pedreira Um Valemix de Santana do Paraíso - MG

COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DO MATERIAL			
Peneiras (mm)	Massa retida (g)	Porcentagem retida (%)	Porcentagem retida acum. (%)
9,5	0,00	0,0	0
6,3	0,00	0,0	0
4,8	1,00	0,2	0
2,4	62,00	13,8	14
1,2	84,00	18,7	33
0,6	80,00	17,8	50
0,3	88,00	19,6	70
0,15	50,00	11,1	81
Fundo	85,00	18,9	100
Massa inicial	450,00 g	Módulo de finura:	2,48
Massa final	450,00 g	Dimensão máxima:	4,80 mm
Diferença:	0,00%	O Agregado pertence à Zona 03	

Tabela2: Distribuição granulométrica do agregado miúdo reciclado

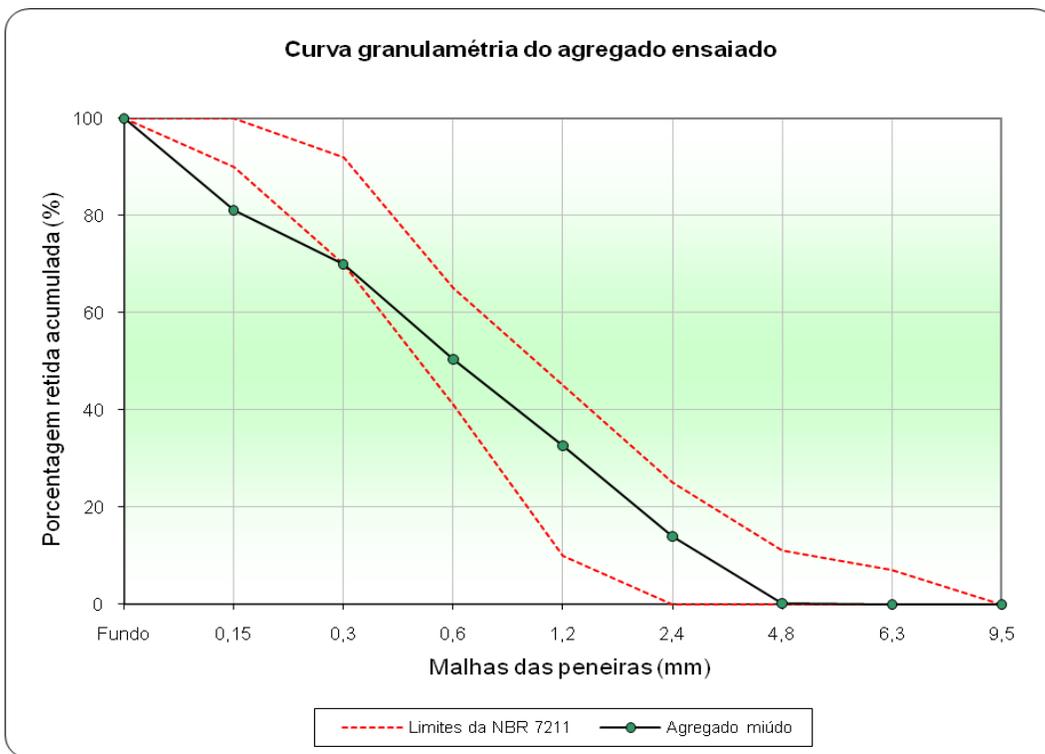


Gráfico 1: Curva granulométrica do agregado miúdo reciclado

5.1.2.2. Agregado Graúdo

Material: Agregado Graúdo reciclado

Procedência: Tanques de decantação da Pedreira Um Valemix – Santana do Paraíso - MG

COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DO MATERIAL			
Peneiras (mm)	Massa retida (g)	Porcentagem retida (%)	Porcentagem retida acum. (%)
38,0	0,00	0,0	0
32,0	0,00	0,0	0
25,0	0,00	0,0	0
19,0	2300,00	27,5	27
12,5	2182,00	26,1	54
9,5	1236,00	14,8	68
6,3	1465,00	17,5	86
4,8	732,00	8,7	95
2,4	0,00	0,0	95
Fundo	459,00	5,5	100

Massa inicial	8374,00 g	Módulo de finura:	6,63
Massa final	8374,00 g	Dimensão máxima:	25,0 mm
Diferença:	0,00%	Agregado pertence à Graduação 1	

Tabela3: Distribuição granulométrica do agregado graúdo reciclado

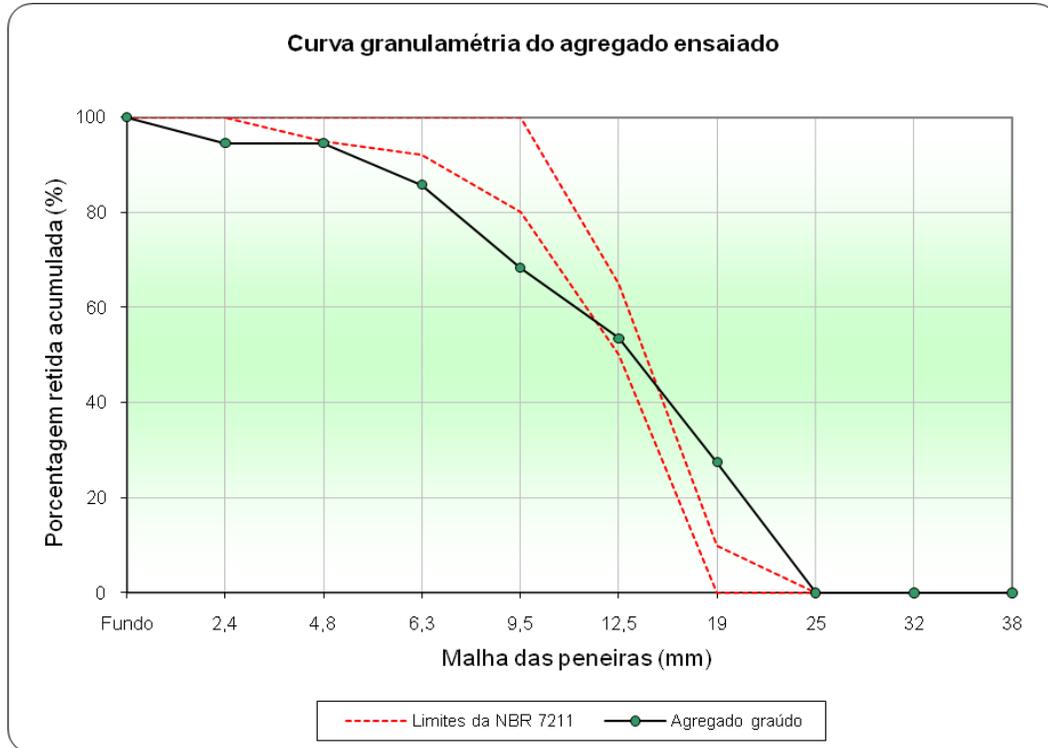


Gráfico 2: Curva granulométrica do agregado graúdo reciclado

5.1.3. Massa Específica e Massa Unitária

Para a obtenção da massa unitária, a norma utilizada prescreve que a massa é dada pela média de pelo menos três determinações, onde os resultados individuais não devem apresentar desvios maiores que 1% em relação à média.

Como já observado na bibliografia, o agregado reciclado apresenta menor massa unitária que o agregado convencional, sendo maior a diferença entre os agregados graúdos. Segundo LEITE (2001) este é um dos aspectos que pode vir a interferir na dosagem de concretos com agregados reciclados.

5.1.4. Material Pulverulento

O método apresentado pela NBR 7219 consiste na determinação de partículas minerais com dimensão inferiores a 0,075 mm, inclusive os materiais solúveis em água presentes no agregado.

Segundo a ABNT (1983) para os agregados convencionais, destinados à produção de concreto, os valores não devem ultrapassar a 3% para concretos submetidos a desgaste superficial e a 5% nos demais concretos, podendo ainda ser estes valores estendidos a 5% e 7%, respectivamente, quando o material que passa pela peneira ABNT 0,075 mm for constituído totalmente de grãos gerados no processo de britagem.

5.1.5. Quadro comparativo entre o agregado reciclado e agregado convencional

	Agregado Graúdo		Agregado Miúdo	
	Reciclado	Brita 1 Gnaise	Reciclado	Areia lavada
Massa específica	2330 kg/m ³	2750 kg/m ³	2434 kg/m ³	2680 kg/m ³
Modulo de finura	6,63	6,88	2,48	2,60
Absorção	10,7 %	0,5 %	11,2	0,5 %
Pulverulento %	-	-	25,0 %	4,0 %

Tabela 4: Comparativos entre o agregado convencional e agregado reciclado

5.2. Produção dos Concretos

5.2.1. Dosagem e Mistura

O preparo dos concretos na betoneira, tanto dos convencionais (CC) quanto dos reciclados

(CR), seguiu as etapas:

- 1) Colocação do agregado graúdo e parte da água de amassamento;
- 2) Adição do cimento e mais parte da água;
- 3) Colocação do agregado miúdo e mais outra parte da água;
- 4) Verificação da consistência do concreto (*slump test*)
- 5) Adição de água para novo *slump test* ou diretamente a confecção dos corpos-de-prova

Foram produzidos em cada amostra cerca de 20 dm³ para a confecção de:

- corpos-de-prova cilíndricos de 10 x 20 cm para Resistência à Compressão;

5.2.2. Traços Obtidos

5.2.2.1 – Família de traços com agregado convencional.

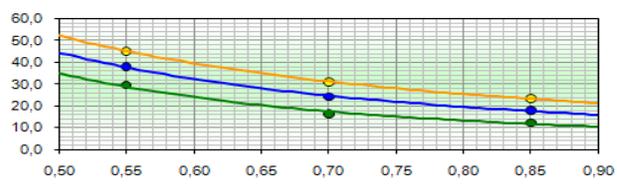
 PEDREIRA UM VALEMIX LTDA Av. 01, Lote 53, Quadra 2 - Distrito Industrial, CEP 35.167-000 Santana do Paraiso, MG		Básico: 606/07 Rico : 607/07 Pobre: 608/07								
		LABORATÓRIO DE CONTROLE DE QUALIDADE								
Dosagem experimental de concreto - B-CPV-4,0-APB1										
Tipo, marca, procedência e quantidade dos materiais										
Cimento 1:	CP V ARI RS Holcim, Pedro Leopoldo	100 %								
Cimento 2:		0 %								
Areia 01:	Areia artificial Pedreira Um Valemix, Timóteo	50 %								
Areia 02:	Areia natural Rio Santo Antônio, Naque	50 %								
Brita 01:	Brita graduação 1 Gnaissica, Pedreira Um Valemix, Timóteo	100 %								
Brita 02:		0 %								
Aditivo 01:		0,00 %								
Aditivo 02:		0,00 %								
Cálculo do Traço										
Básico:	Aglomerante: 6.000 g	Teor de argamassa: 0,520	Relação a/c: 0,700	Consumo de água: 214 L						
Rico:	Aglomerante: 6.000 g	Teor de argamassa: 0,510	Relação a/c: 0,550	Consumo de água: 212 L						
Pobre:	Aglomerante: 6.000 g	Teor de argamassa: 0,530	Relação a/c: 0,850	Consumo de água: 216 L						
Básico:	K ₁ : 0,3659	K ₂ : 0,3269	M: 6,1334	a: 2,7093	p: 3,4240					
Rico:	K ₁ : 0,3659	K ₂ : 0,3269	M: 4,6934	a: 1,9036	p: 2,7898					
Pobre:	K ₁ : 0,3658	K ₂ : 0,3270	M: 7,5394	a: 3,5259	p: 4,0135					
Básico:	Consumo cimento: 306 kg	Consumo agregado miúdo: 828 kg	Consumo agregado graúdo: 1.047 kg							
Rico:	Consumo cimento: 385 kg	Consumo agregado miúdo: 734 kg	Consumo agregado graúdo: 1.075 kg							
Pobre:	Consumo cimento: 254 kg	Consumo agregado miúdo: 896 kg	Consumo agregado graúdo: 1.020 kg							
Básico:	Parâmetros do traço: 1,000	: 1,355	: 1,355	: 3,424	: 0,000	: 0,700	+ Aditivos			
Rico:	Parâmetros do traço: 1,000	: 0,952	: 0,952	: 2,790	: 0,000	: 0,550	+ Aditivos			
Pobre:	Parâmetros do traço: 1,000	: 1,763	: 1,763	: 4,014	: 0,000	: 0,850	+ Aditivos			
Características dos materiais constituintes										
Materiais	Massa (kg/m³)		Umidade (%)	Absorção (%)	Básico		Rico		Pobre	
	Específica				Seco	S.S.S	Seco	S.S.S	Seco	S.S.S
Cimento:	3.038				6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000
Escória:	0				0	0	0	0	0	0
Areia 01:	2.750	3,2	0,5		8.128	8.346	5.711	5.864	10.578	10.862
Areia 02:	2.680	2,5	0,5		8.128	8.290	5.711	5.825	10.578	10.788
Brita 01:	2.750	0,5	0,5		20.544	20.544	16.739	16.739	24.081	24.081
Brita 02:		0,0	0,5		0	0	0	0	0	0
Aditivo 01:					0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00
Aditivo 02:					0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00
Água:					4.200	3.820	3.300	3.033	5.100	4.605
					Slump: 110 mm		Slump: 110 mm		Slump: 110 mm	
Ensaio de resistência à compressão										
C.P.	Idade	Data	Tensão MPa							
			Básico	Rico	Pobre					
01	3 dias	25/05	16,4	29,7	12,3					
02	3 dias	25/05	16,4	28,7	11,8					
03	7 dias	29/05	24,3	38,1	17,9					
04	7 dias	29/05	24,0	37,8	17,4					
05	28 dias	19/06	31,2	44,9	22,8					
06	28 dias	19/06	31,0	45,3	23,3					
										
Cálculo equação Abrams										
a	b	f _c			x					
	-x	3 dias	7 dias	28 dias						
1,000	-0,850	12,3	17,9	23,3	0,850					
1,000	-0,700	16,4	24,3	31,2	0,700					
1,000	-0,550	29,7	38,1	45,3	0,550					
			Desvio padrão dosagem 2,0 teor de argamassa consumo de água							
			variável 3 dias 7 dias 28 dias X 2,1525 2,17196 2,1796 Y 1,2762 1,09357 0,96247 a = 0,067 b = 0,473 a = 13,3 b = 204,7							
Preparado por: Romério Sales Pereira		Caminho: user/andre/posgraduação/		Data: 22/05/08 Folha: 01/02						

Tabela 5: Tabela com os dados de desenvolvimento do traço do concreto convencional

Fonte : Laboratório de Materiais da Pedreira Um Valemix

5.2.2.2 – Família de traços com agregado reciclado.

 PEDREIRA UM VALEMIX LTDA Av. 01, Lote 53, Quadra 2 - Distrito Industrial, CEP 35.167-000 Santana do Paraíso, MG		Básico: 603/07 Rico: 604/07 Pobre: 605/07							
LABORATÓRIO DE CONTROLE DE QUALIDADE									
Dosagem experimental de concreto - B-CPV-2,0-APB1									
Tipo, marca, procedência e quantidade dos materiais									
Cimento 1:	CP V ARI RS, Holcim, Pedro Leopoldo	100 %							
Cimento 2:		0 %							
Areia 01:	Areia reciclada Pedreira Um Valemix, Santana do Paraíso	50 %							
Areia 02:	Areia natural Rio Santo Antônio, Naque	50 %							
Brita 01:	Brita graduação 1 reciclada, Pedreira Um Valemix, Santana do Paraíso	50 %							
Brita 02:	Brita graduação 1 Gnaissica, Pedreira Um Valemix, Timóteo	50 %							
Aditivo 01:		0,00 %							
Aditivo 02:		0,00 %							
Cálculo do Traço									
Básico:	Aglomerante: 5.000 g Teor de argamassa: 0,490 Relação a/c: 0,700 Consumo de água: 211 L								
Rico:	Aglomerante: 5.000 g Teor de argamassa: 0,490 Relação a/c: 0,550 Consumo de água: 210 L								
Pobre:	Aglomerante: 5.000 g Teor de argamassa: 0,490 Relação a/c: 0,850 Consumo de água: 212 L								
Básico:	K ₁ : 0,3924 K ₂ : 0,3305 M: 5,8288 a: 2,3461 p: 3,4827								
Rico:	K ₁ : 0,3924 K ₂ : 0,3305 M: 4,4309 a: 1,6612 p: 2,7698								
Pobre:	K ₁ : 0,3924 K ₂ : 0,3305 M: 7,2099 a: 3,0229 p: 4,1871								
Básico:	Consumo cimento: 301 kg Consumo agregado miúdo: 707 kg Consumo agregado graúdo: 1.050 kg								
Rico:	Consumo cimento: 382 kg Consumo agregado miúdo: 634 kg Consumo agregado graúdo: 1.058 kg								
Pobre:	Consumo cimento: 249 kg Consumo agregado miúdo: 754 kg Consumo agregado graúdo: 1.044 kg								
Básico:	Parâmetros do traço: 1,000 : 1,173 : 1,173 : 1,741 : 1,741 : 0,700 + Aditivos								
Rico:	Parâmetros do traço: 1,000 : 0,831 : 0,831 : 1,385 : 1,385 : 0,550 + Aditivos								
Pobre:	Parâmetros do traço: 1,000 : 1,511 : 1,511 : 2,094 : 2,094 : 0,850 + Aditivos								
Características das matérias constituintes									
Materiais	Massa (kg/m³) Específica	Umidade (%)	Absorção (%)	Básico		Rico		Pobre	
				Seco	S.S.S	Seco	S.S.S	Seco	S.S.S
Cimento:	3.038			5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000
Escória:	0			0	0	0	0	0	0
Areia 01:	2.434	11,0	10,3	5.865	5.903	4.153	4.179	7.557	7.605
Areia 02:	2.680	3,4	0,5	5.865	6.035	4.153	4.273	7.557	7.775
Brita 01:	2.330	3,0	9,7	8.707	8.175	6.924	6.502	10.468	9.828
Brita 02:	2.750	0,0	0,5	8.707	8.663	6.924	6.890	10.468	10.416
Aditivo 01:				0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00
Aditivo 02:				0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00
Água:				3.500	3.869	2.750	3.061	4.250	4.675
				Slump: 110 mm		Slump: 110 mm		Slump: 110 mm	
Ensaio de resistência à compressão									
C.P.	Idade	Data	Tensão MPa						
			Básico	Rico	Pobre				
01	3 dias	25/05	10,6	16,3	8,6				
02	3 dias	25/05	10,9	16,0	8,9				
03	7 dias	29/05	15,9	20,7	12,7				
04	7 dias	29/05	15,9	20,7	12,7				
05	28 dias	19/06	20,5	24,6	16,6				
06	28 dias	19/06	20,5	24,6	16,6				
Cálculo equação Abrams									
a	b	-x	f _c			x			
			3 dias	7 dias	28 dias				
1,000	-0,850		8,9	12,7	16,6	0,850			
1,000	-0,700		10,9	15,9	20,5	0,700			
1,000	-0,550		16,3	20,7	24,6	0,550			
Desvio padrão dosagem	variável	3 dias	7 dias	28 dias					
2,0	X	1,6795	1,70105	1,7087					
	Y	0,8760	0,70462	0,57352					
	a =	0,000	b = 0,490						
	a =	6,7	b = 206,3						
Preparado por: Romério Sales Pereira	Caminho: andre/posgraduação/	Data: 22/05/08 Folha: 01/02							

Tabela 6: Tabela com os dados de desenvolvimento do traço do concreto Misto

Fonte: Laboratório de Materiais da Pedreira Um Valemix

5.2.2.3. Comparativo dos consumos de matéria-prima

As tabelas abaixo apresentam os consumos de cimento, agregado graúdo, agregado miúdo, e água, partir das curva de Abrams traçadas com os resultados de rompimento aos 28 dias do concreto produzidos com agregados convencionais e do concreto produzido com 50% de agregados convencional e 50% agregado reciclado..

f _{ck} (MPa)	f _{c28} (MPa)	relação a/c	teor argamassa	consumo água	consumo			
					cimento 1	areia 1	areia 2	brita 1
9,0	12,3	1,132	0,549	220	194,1	494	494	971
13,5	16,8	0,991	0,539	218	219,8	473	473	995
15,0	18,3	0,953	0,537	217	228,1	467	467	1002
18,0	21,3	0,884	0,532	216	244,7	455	455	1014
20,0	23,3	0,844	0,530	216	255,9	447	447	1021
25,0	28,3	0,756	0,524	215	284,0	428	428	1037
30,0	33,3	0,683	0,519	214	313,1	410	410	1050
35,0	38,3	0,620	0,515	213	343,6	391	391	1062
40,0	43,3	0,564	0,511	212	376,0	372	372	1073
45,0	48,3	0,515	0,508	212	410,8	353	353	1082
50,0	53,3	0,471	0,505	211	448,3	332	332	1092

Tabela 7: Consumo de matéria-prima dos concretos com agregados convencionais

f _{ck} (MPa)	f _{c28} (MPa)	relação a/c	teor argamass	consumo água	consumo				
					cimento	areia 1	areia 2	brita 1	brita 2
9,0	12,3	1,079	0,490	214	197,9	400	400	519	519
13,5	16,8	0,843	0,490	212	251,5	376	376	522	522
15,0	18,3	0,778	0,490	212	271,8	367	367	523	523
18,0	21,3	0,663	0,490	211	317,8	346	346	526	526
20,0	23,3	0,595	0,490	210	353,3	330	330	527	527
25,0	28,3	0,448	0,490	209	467,3	278	278	533	533
30,0	33,3	0,325							
35,0	38,3	0,219							
40,0	43,3	0,126							
45,0	48,3	0,043							
50,0	53,3	-0,031							

Tabela 8: Consumo de matéria-prima dos concretos com 50% agregados convencional e 50% agregado reciclado.

Os gráficos abaixo comparam o consumo de cimento por metro cúbico, do concreto Convencional com concreto Misto, para as classes de resistência mais comercializadas calculados a partir das curvas de Abrams obtidas pelo resultados de rompimento a compressão aos 28 dias .

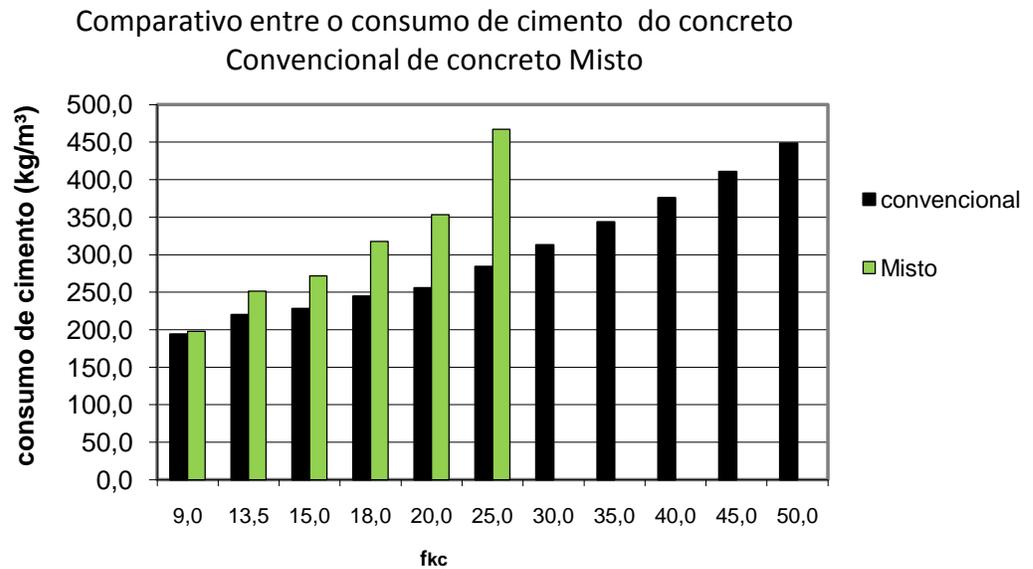


Gráfico 3: Comparativo do consumo de cimento entre os concretos produzidos com agregado convencional e produzidos com agregados misto.

5.2.2.4. Comparativo do ganho de resistência à compressão entre o concreto Convencional e o concreto Misto.

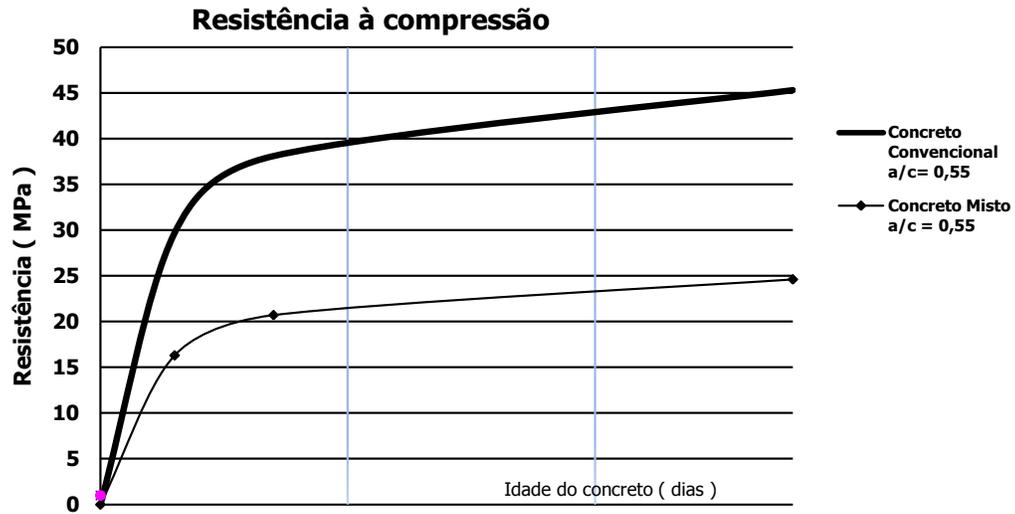


Gráfico 4: comparativo do ganho de resistência até aos 28 dias, entre o concreto Convencional e concreto Misto com relação $a/c=0,55$.

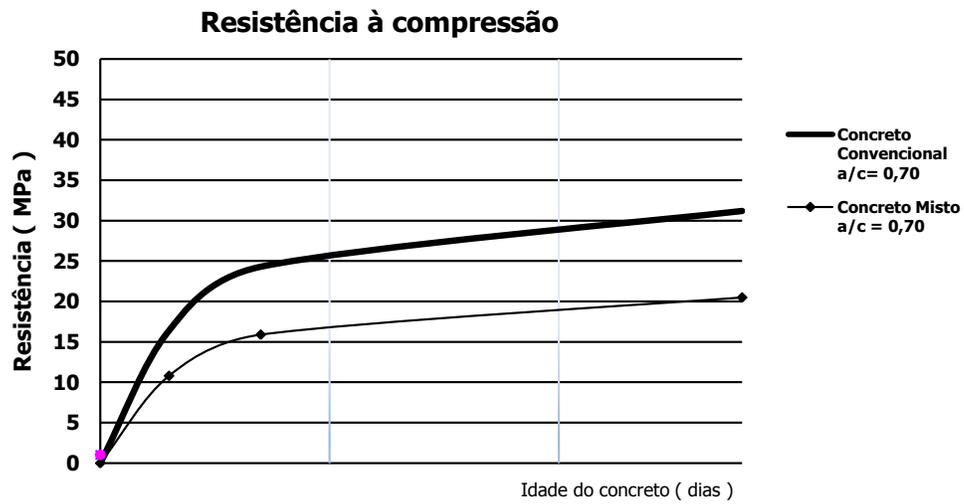


Gráfico 5: Comparativo do ganho de resistência até aos 28 dias, entre o concreto Convencional e concreto Misto.

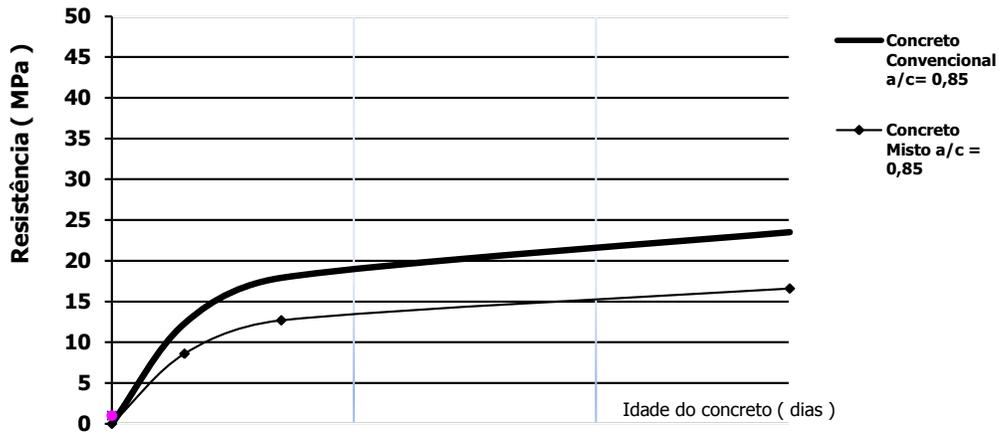


Gráfico 6: Comparativo do ganho de resistência até aos 28 dias, entre o concreto Convencional e concreto Misto.

5.2.3. Massa Específica dos Concretos

As massas dos concretos reciclados nos estados Secos e Saturado Superfície Seca, ficaram em média 5% abaixo dos concretos convencionais; mantendo uma variação entre os estados Seco e SSS, próxima aos concretos convencionais. Segundo LEITE (2001), a menor massa de concretos reciclados deve-se ao agregado e ainda, uma quantidade maior de vazios incorporados ao concreto com este material.

Concreto com agregado convencional	Concreto com agregado reciclado
2.388 kg / m ³	2.269 kg / m ³

Tabela 9: Massa específica dos concreto convencional e do concreto misto

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A reciclagem de resíduos gerados pela indústria da construção civil tem sido cada vez mais difundida no Brasil. Contudo, a reciclagem de resíduos gerados por centrais de concreto ainda não é uma realidade em nosso país. Porém, reciclar os resíduos e reutilizá-los, segundo LEITE (2001), é considerado por muitos pesquisadores a forma mais eficaz de tentar fechar o ciclo de vida dos materiais de construção.

O trabalho apresentado vem dar sua parcela na ampliação dos conhecimentos sobre utilização de agregados obtidos a partir da reciclagem de resíduos produzidos de central de concreto, tendo a resistência como foco maior nos experimentos realizados.

Os agregados de resíduos provenientes da usina de reciclagem da Pedreira Um Valemix, mostraram bom desempenho nas propriedades físicas analisadas. A geração do material com britador de mandíbulas, perfaz em agregados com boas características granulométricas à produção de concretos.

O agregado reciclado apresentou massa específica menor que o convencional, tendo 85% da massa dos agregados miúdo e graúdo, respectivamente. Com isso, o concreto produzido ficou em média, 5% abaixo do peso do concreto convencional confeccionado, apresentando no estado seco, massa da ordem de 2,269 Kg/dm³ contra os 2,395 Kg/dm³ do concreto com pedra britada e areia de rio. Sendo este um ponto à crescer no emprego deste material.

Os resultados mostram que é tecnicamente viável a utilização de agregados reciclados para produção de concreto com baixa demanda de resistência a partir da britagem dos resíduos produzidos por centrais de concreto. Já para concreto com maior demanda de resistência, ou seja, concretos da classe C20 ou maiores, sua utilização torna-se inviável.

Concretos produzidos com agregado reciclado podem ser na produção de peças pré-moldadas de baixa solicitação, como blocos de vedação, meio fio e sarjetas, painéis de vedação, etc.

Na continuação dos estudos, cita-se as sugestões:

- Investigar o desempenho de concretos reciclados em diferentes curas;
- Avaliar a influência da absorção do agregado sobre as retrações do concreto;

- Analisar o comportamento do material frente ao uso de aditivos redutores de água;
- Quantificar o custo de produção dos agregados reciclados;
- Propor sistemas itinerante de britagem que possam atender às diversas empresas de concreto usinado.

7. BIBLIOGRAFIA

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas – NBR 5738, Moldagem e cura de corpos- deprova de concreto, cilíndricos ou prismáticos. Rio de Janeiro, 1980.

____ NBR 5739, Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos de concreto – procedimento. Rio de Janeiro, 1980.

____ NBR 7211. Agregados para concreto – especificação. Rio de Janeiro, 1983.

____ NBR 7217, Agregado - determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 1987.

____ NBR 7219, Agregados – determinação do teor de materiais pulverulentos. Rio de Janeiro, 1987.

____ NBR 7251, Agregado em estado solto – determinação da massa unitária. Rio de Janeiro, 1982.

____ NBR 9776, Agregados – determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco de chapman. Rio de Janeiro, 1987.

____ NBR 9941, Redução de amostra de campo de agregados para ensaios de laboratório. Rio de Janeiro, 1987

____ NBR 10007, Amostragem de resíduos. Rio de Janeiro, 1987

ANGULO, S. C. Variabilidade de agregados graúdos de resíduos de construção e demolição reciclados. 172 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2000.

BRITO, L. A. et al. Utilização de entulho de construção civil como agregado graúdo para a confecção de novos concretos. IV Seminário Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção Civil: materiais reciclados e suas aplicações, p. 203 – 214. São Paulo, 2001.

CANÊDO, V. S. et al. Concreto fabricado com agregado miúdo proveniente da reciclagem de entulho de concreto. 43º Congresso Brasileiro do Concreto. Arquivo eletrônico. Foz do Iguaçu, 2001.

CHENNA. S. I. M. Aproveitamento de resíduos sólidos como materiais de construção. IV Seminário Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção Civil: materiais reciclados e suas aplicações, p. 28 – 45. São Paulo, 2001.

HELENE, P. R. L. Contribuição ao estudo da corrosão e, armaduras de concreto armado. Tese (Livre Docência). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1993.

JOHN, V. M. Reciclagem de resíduos na construção civil: contribuição para metodologia de pesquisa e desenvolvimento. 120 p. Tese (Livre Docência) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2000.

LEITE, M. B. Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição. 290 p. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2001.

LIMA, J. A. R. Proposição de diretrizes para produção e normalização de resíduos de construção reciclado e de suas aplicações em argamassas e concretos. 246 p. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 1999.

PINTO, T. P. Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana. 189p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1999.

____ Reciclagem no canteiro de obras – responsabilidade ambiental e redução de custos. Revista Técnica, editora Pini, ed. 49 p. 64-68. São Paulo, 2000.

____ Gestão dos resíduos de construção e demolição em áreas urbanas – da ineficácia a um modelo de gestão sustentável. Projeto Entulho Bom, p. 78-113. Universidade Federal da Bahia. Salvador, 2001.

TÉCHNE. Números do desperdício. Editora Pini, ed. 53 p. 30-33. São Paulo, 2001a.

____ Sobras que valem uma obra. Editora Pini, ed. 55 p. 58-61. São Paulo, 2001b.

VÁZQUES, E. Projeto Entulho Bom, p. 22-25. Universidade Federal da Bahia. Salvador, 2001.

XAVIER, L. L e ROCHA, J. C. Diagnóstico do resíduo da construção civil – início do caminho para o seu potencial do entulho. IV Seminário Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção Civil: materiais reciclados e suas aplicações, p. 57 – 63. São Paulo, 2001.

ZORDAN, S. E. A utilização do entulho como agregado na confecção do concreto. Dissertação (mestrado) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 1997.

ZORDAN, S. E. et al. Desenvolvimento sustentável e a reciclagem de resíduos na construção civil. IV Seminário Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção Civil: materiais reciclados e suas aplicações, p. 43 – 56. São Paulo, 2001