

N. CLASS.	624
CUTTER	C.355.11
ANO/EDIÇÃO	2015

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS – UNIS / MG

ENGENHARIA CIVIL

FABIANO BOTREL CASTRO

**UTILIZAÇÃO DE CONCRETO RECICLADO PARA CONTRA PISO E
PAVIMENTAÇÃO DE CALÇADAS EM UM CONJUNTO HABITACIONAL NA
CIDADE DE TRÊS PONTAS – MG: Comparativo de custo e resistência em relação ao
concreto convencional**

**Varginha
2015**

Grupo Educacional UNIS

FABIANO BOTREL CASTRO

**UTILIZAÇÃO DE CONCRETO RECICLADO PARA CONTRA PISO E
PAVIMENTAÇÃO DE CALÇADAS EM UM CONJUNTO HABITACIONAL NA
CIDADE DE TRÊS PONTAS – MG: Comparativo de custo e resistência em relação ao
concreto convencional**

Trabalho apresentado como requisito para obtenção dos créditos da disciplina TCC II, 10º período do Curso de Engenharia Civil do Centro Universitário do Sul de Minas – UNIS/MG sob orientação do Prof. Armando Belato.

**Varginha
2015**

FABIANO BOTREL CASTRO

**UTILIZAÇÃO DE CONCRETO RECICLADO PARA CONTRA PISO E
PAVIMENTAÇÃO DE CALÇADAS EM UM CONJUNTO HABITACIONAL NA
CIDADE DE TRÊS PONTAS – MG: Comparativo de custo e resistência em relação ao
concreto convencional**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada
ao curso de Engenharia Civil do Centro
Universitário do Sul de Minas –UNIS/MG,
como pré-requisito para obtenção do grau de
bacharel pela Banca Examinadora composta
pelos membros:

Aprovado em: / /

Prof. Armando Belato Pereira

Prof. Antônio de Faria

Prof. Elker Lucas Garroni

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela minha saúde e sabedoria e dedico este projeto aos meus pais que me proporcionaram a oportunidade de crescer e estudar. Agradeço a meus pais, Paulo Souza de Castro e Maria de Fatima Botrel Pereira Castro. Agradeço ao Prof. Armando por sua simplicidade e capacidade de orientação, que foi excelente pelo tempo disposto e pelo conhecimento compartilhado.

RESUMO

O problema cada vez maior de escassez de jazidas de materiais adequados para o setor de construção civil tem levado a pesquisas sobre novas fontes e recursos de materiais que possam substituí-los. Dentre os materiais pesquisados encontram-se os resíduos, que podem ser reciclados de forma que possam ser utilizados como agregado para concreto. Essas pesquisas têm ganhado bastante relevância devido ao atual contexto ambiental, onde a produção de entulho é crescente e vêm causando diversos problemas sociais, econômicos e de saúde pública, principalmente por conta da disposição irregular. A utilização de materiais reciclados na construção pode ser um importante canal de eliminação de resíduos. Com o intuito de verificar a viabilidade econômica de se substituir os agregados naturais por agregados reciclados, este trabalho aborda um estudo de caso, comparando o custo e a resistência desses materiais, alocando-os de forma não estrutural em contra pisos e calçadas no Conjunto Habitacional Jardim das Esmeraldas, localizado em Três Pontas, sul de Minas Gerais.

Palavras-chave: Resíduos. Concreto reciclado. Agregados reciclados.

ABSTRACT

The growing problem of shortage of suitable materials deposits for the civil construction sector has led research on new sources and material resources that can be replace them. The materials researched are the residues that can be recycled so it can be used as aggregates for concrete. The resources gained enough relevance due to the current environmental context where the production of rubble and growing has caused many social problems economics and public health mainly due to the irregular disposition. The recycled materials in construction may be important channel elimination of waste. In order to verify the economics visibility of substituting recycled aggregates the work deals with a case study, comparing the cost and the resistance of these materials allocating them in order not Structural counter floors and sidewalks in the Emerald Garden Housing Complex, located in Três Pontas, south of Minas Gerais.

Key-words: *Waste. Recycled Concret. Recycled Aggregates.*

LISTA DE FIGURAS E QUADROS

Figura 1 – Entulho	15
Figura 2 - Cadeia de construção civil e impactos ambientais.....	16
Figura 3 – Depósitos irregulares de entulho	18
Figura 4 - Estocagem de resíduos.....	24
Figura 5 - Balança para caminhões.....	24
Figura 6 – Peneira.....	25
Figura 7 - Correias transportadoras	25
Figura 8 - Material reciclado acabado	25
Figura 9 – Mapeamento do Conjunto Habitacional Jardim das Esmeraldas	37
Figura 10 – Projeto Arquitetônico	38
Figura 11 – Fachada	39
Quadro 1 – Quantitativo de concreto utilizado no Conjunto Habitacional	40
Quadro 2 – Encargos sociais sobre a mão de obra	42
Quadro 3 – Preço da hora do auxiliar	43
Quadro 4 – Preço da hora do oficial	43
Quadro 5 – Custo do concreto tradicional por m ³	44
Quadro 6 – Custo do concreto reciclado por m ³	44
Quadro 7 – Custo de aplicação do concreto tradicional	45
Quadro 8 – Custo da aplicação do concreto reciclado.....	46
Quadro 9 – Custo da aplicação do concreto usinado.....	46
Quadro 10 – Custo total de cada concreto na obra	48

LISTA DE GRÁFICOS E TABELAS

Gráfico 1 - Composição dos resíduos de obras: média brasileira	17
Gráfico 2 - Efeito isolado da percentagem de AMR e AGR sobre a massa.....	29
Gráfico 3 - Efeito isolado da relação água/cimento sobre a massa	30
Gráfico 4 - Efeito combinado de água/cimento e percentagem de substituição	30
Gráficos 5 e 6 – Efeito do % de substituição dos agregados em função água/cimento e função da relação água cimento para teores de AMR	32
Gráficos 7 e 8 – f_c em função da percentagem de AGR e f_c em função da relação água/cimento para diferentes percentagens de AGR.....	33
Gráfico 9 – Potencial de corrosão em função da idade	35
Gráficos 10 e 11 – Curvas de resistência à tração em função de água/cimento	36
Tabela 1 - Classificação dos resíduos segundo CONAMA.....	18
Tabela 2 - Uso recomendado para resíduos reciclados.....	22
Tabela 3 – Consumo de cimento e resistência à compressão	34
Tabela 4 – Traços em massa utilizados na produção do concreto referência e consumo de cimento por m^3 de Leite (2001)	41
Tabela 5 – Custo dos agregados convencionais	46
Tabela 6 – Custo dos agregados reciclados	46
Tabela 7 – Comparativo de custos dos concretos.....	47

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- a/c – Relação água/cimento
- a/c_{real} – Relação água/cimento realmente utilizada
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
- AGR – Agregado graúdo reciclado
- AMR – Agregado miúdo reciclado
- CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente
- C – concreto
- C_{ref} – concreto referência
- C_{rec} – concreto reciclado
- E_{corr} – leitura eletroquímica de potencial de corrosão
- f_c – fator característico
- f_{cD} – fator característico diametral
- f_{cF} – fator característico de flexão
- f_{c_{real}} – fator característico real
- f_{c_{calculado}} – fator crítico calculado
- Kg/m³ - Quilograma por metro cúbico
- MPa - Mega Pascal
- mV - milivolt
- RP – resistência de polarização

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 OBJETIVOS	12
2.1 Geral	12
2.2 Específicos.....	12
3 JUSTIFICATIVA	13
4 MATERIAL E MÉTODOS	14
4.1 Os procedimentos comparativos.....	14
5 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
5.1 O entulho na construção civil	15
5.2 O processo de reciclagem	20
5.3 Vantagens e limitações do reaproveitamento de entulho	26
5.4 O concreto e suas propriedades	27
5.5 Comparativo entre concreto tradicional e concreto reciclado	28
6 ESTUDO DE CASO	37
6.1 Local.....	37
6.2 Levantamento de quantitativo	40
6.3 Comparativo de custos	42
6.4 Análise dos resultados	48
7 CONCLUSÃO.....	49
REFERÊNCIAS	50
ANEXOS	53

1 INTRODUÇÃO

Houve um tempo em que os impactos ambientais não eram considerados fatores preocupantes, porque a produção de resíduos era pequena e a possibilidade de assimilação do meio ambiente era muito grande. O crescimento populacional e o desenvolvimento tecnológico encaminhado pela revolução industrial aumentaram a produção desses resíduos a ponto de torná-lo um dos grandes problemas da construção, estimulando a criação de leis, sistemas e ações capazes de controlar os referidos impactos.

A construção civil tem responsabilidade sobre grande quantidade de resíduos sólidos gerados atualmente, sendo estes resíduos provenientes de construção, reforma ou demolição. Aliado a este problema, o descarte também é feito de forma irregular em grande parte dos casos, transformando o entulho em problema social, econômico e ambiental.

O consumo acompanha o desenvolvimento, que avança devorando os recursos naturais, sendo que os mesmos têm vida útil limitada e estão se esgotando. Reaproveitar estes resíduos utilizando-os para a construção pode ser uma alternativa tanto ao esgotamento dos recursos naturais quanto para os impactos ambientais causados pelo entulho.

A reciclagem de resíduos de construção, reforma e demolição dão origem à materiais granulares, quem vêm sendo utilizados para substituir agregados de concreto (areia e brita). O concreto feito a partir de agregados reciclados, no entanto, possui características diferentes do concreto tradicional, o que poderia interferir em seu uso.

O objetivo desta pesquisa é estudar se o concreto reciclado, feito a partir de agregados provenientes de resíduos de construção, reforma e demolição, possui resistência necessária para uso não estrutural, bem como mostrar se este concreto é viável economicamente.

Para chegar a este objetivo, foi realizado um estudo bibliográfico e um estudo de caso, analisando a quantidade de concreto não estrutural utilizada para fazer um conjunto habitacional na cidade de Três Pontas e, a partir destes estudos, mostrar se o concreto reciclado pode ser utilizado sem prejuízos à resistência necessária ou aos custos do projeto.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Essa pesquisa tem o objetivo geral de comparar a resistência e o custo financeiro do concreto tradicional (que utiliza areia e brita) e do concreto reciclado (que utiliza resíduos de construção, reforma e demolição em sua formulação), no intuito de mostrar qual seria mais viável economicamente.

2.2 Específicos

Para obter o objetivo geral desta pesquisa têm-se como objetivos específicos:

- a) Mostrar, através de estudo bibliográfico, a importância de se reaproveitar os resíduos sólidos da construção civil, ecológica e financeiramente, apontando, através de revisão bibliográfica, os problemas de escassez de recursos, da localização das jazidas, das perdas com transportes, dos depósitos clandestinos e outras perdas usuais.
- b) Apontar possíveis formas de se reutilizar os resíduos e os usuais processos atuais de reciclagem, ambos também mostrados pela revisão bibliográfica.
- c) Mostrar, através de estudo bibliográfico, se o concreto reciclado possui a resistência necessária para utilização não estrutural.
- d) Apontar se há ou não viabilidade financeira em se substituir o concreto tradicional pelo concreto reciclado através de um estudo de caso que compara seus custos para a construção de um conjunto habitacional em Três Pontas.

3.JUSTIFICATIVA

A escolha do tema se deve ao constante aumento do setor de construção civil em todo o país e a importância de fazer com que toda a atividade seja feita de forma sustentável. A sustentabilidade vem se tornando tema cada vez mais presente e essencial na sociedade e, dentro desse cenário, buscam-se alternativas para redução de impactos ambientais.

No setor de construção civil, grande parte dos impactos ambientais é gerada pelos resíduos de construção, reforma e demolição, que viram entulho; e pelo grande uso de recursos naturais. Responsável por consumir boa parte de todos os recursos naturais, o setor vem se deparando com os problemas de escassez, esgotamento de reservas, novas normas ambientais e o consequente aumento de custos.

O entulho, que antes era apenas destinado a uma espécie de “depósito”, agora pode ser utilizado como matéria-prima de concreto para utilização não estrutural. Essa reciclagem vem se tornando uma alternativa ecológica promissora e, caso esse concreto tenha uma boa resistência e tenha um custo inferior ao tradicional, pode também se tornar uma alternativa financeira. Dessa forma, a reciclagem pode ajustar na gestão de recursos, evitando a degradação ambiental; e na gestão de custos, fornecendo materiais mais acessíveis.

4 MATERIAL E MÉTODOS

A partir da intenção de estudar a viabilidade de se substituir o concreto tradicional por concreto reciclado em fins não estruturais, comparando a resistência e o custo financeiro, esta pesquisa foi construída a partir de um estudo de caso, utilizando um conjunto habitacional e seus gastos como base de comparação.

O estudo de caso é realizado a partir do estudo dos dados da construção de um conjunto habitacional do programa “Minha casa, minha vida” do Governo Federal. O conjunto foi escolhido por se tratar de programa social, que visa construir casas populares e, como tal, precisam ser econômicas e sustentáveis. O conjunto habitacional fica no Loteamento Jardim das Esmeraldas em Três Pontas, sul de Minas Gerais.

O conjunto possui 517 casas, cada uma com 43,07 metros quadrados. Também possui iluminação pública, água, esgoto, pavimentação, passeio em concreto, meio fio com sarjeta e arborização.

4.1 Os procedimentos comparativos

O comparativo do estudo de caso se divide em 2 linhas: resistência e custo. Primeiro, pesquisou-se se o material possuía resistência necessária para ser utilizado com fins não estruturais. Esta pesquisa foi realizada a partir de revisão bibliográfica, a qual tomou como referência o estudo de Leite (2001), uma tese de doutorado que pesquisou a resistência do concreto reciclado com 15 traços diferentes.

Para realizar o comparativo de custos, buscou-se um preço médio dos agregados reciclados na região e o custo final que representariam, comparados ao custo que a obra já obteve. Ao final, será extraída uma tabela, resumindo os resultados alcançados e mostrando a viabilidade ou não viabilidade da substituição.

Para coleta de dados foram feitas visitas técnicas ao Conjunto Habitacional, antecipadamente agendadas, e com objetivos previamente definidos. As primeiras visitas tiveram o intuito de verificar os dados do empreendimento, o memorial descritivo e o andamento dos projetos. Posteriormente, foram obtidas informações sobre os tipos de planta, o quantitativo de materiais e os custos referentes ao uso do concreto nos contra pisos e calçadas. Também foram fornecidos documentos referentes à obra, como o Memorial Descritivo (Anexo A).

5 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

5.1 O entulho na construção civil

Os resíduos da construção e demolição são conhecidos como entulho. Entulho é o conjunto de fragmentos desperdiçados na construção civil, tendo origem tanto na construção, quanto na reforma e na demolição. O entulho é formado por uma grande quantidade de materiais e, por esse motivo, tem composição variada. A quantidade destes resíduos varia de acordo com as características de cada região e país, já que as características e os materiais empregados tendem a variar de um lugar para outro (Figura 1) (PORTO e SILVA, 2010).

Figura 1 - Entulho

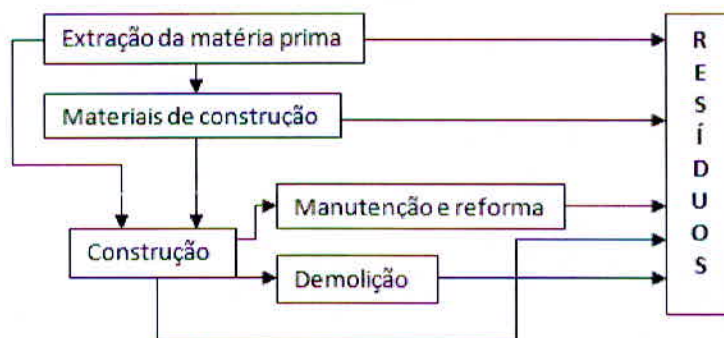


FONTE: <http://santaritadearaguaia.go.gov.br/wp-content/uploads/2014/01/entulho-Custom.jpg>

De acordo com Dias (2007, p.10) "para cada tonelada de lixo urbano recolhido, são coletadas duas toneladas de entulho originado do setor de construção civil". É um dado impactante que mostra a necessidade de políticas viabilizadoras de projetos de controle e reutilização desses resíduos.

De acordo com Silva (2004), os resíduos de construção podem se originar de diversas maneiras: desperdício de materiais, perdas, demolições, guerras e catástrofes. Se apresenta em forma de sólidos, em variadas características físicas, com dimensões tanto regulares como irregulares. São exemplos de resíduos pedaços de madeira, argamassa, concretos, metais e plásticos. A geração de resíduos acontece em toda a cadeia de construção, como mostra a Figura 2.

Figura 2 – Cadeia de construção civil e impactos ambientais



FONTE: Karpinsk et al (2009, p.21)

Apesar das diversas origens, Corcuera (2000) aponta que a maior parte vem de perdas e desperdícios que se originam da insuficiência de definição em projetos, falta de qualidade nos materiais e ausência de mecanismos de controle da execução das obras que acabam gerando perdas na estocagem e no transporte, entre outros.

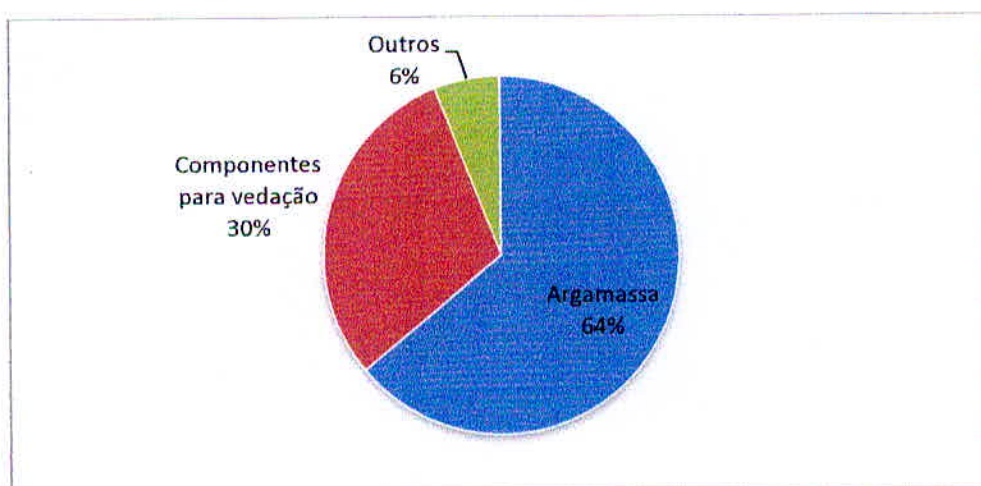
Cabral e Moreira (2011) também apontam as perdas e desperdícios como principal fonte de perdas e destacam outras fontes como urbanização desordenada e consequente adaptações e modificações e estruturas de concreto mal feitas que reduzem a vida útil e também necessitam de manutenção.

Para Cabral e Moreira (2011) a qualidade dos materiais influenciam nas perdas e desperdícios de forma regional, já que a tecnologia, a produção, a qualificação da mão-de-obra e os procedimentos utilizados mudam de lugar para lugar.

Geralmente os resíduos gerados pelo setor de construção civil são considerados resíduos inertes porque possui características e composição conhecidas, dispensando análises onerosas e desnecessárias para definição do tratamento e disposição. Esses resíduos possuem potencial de reutilização avaliado em quase 100%, podendo ser empregados diretamente ou com mínima intervenção, sem a necessidade de alta tecnologia e grandes investimentos (BATISTA, 2009).

Segundo Corcuera (2000), apesar de não existir estatísticas para todo o país – são feitas apenas de forma regional –, o entulho que sai dos canteiros de obra brasileiros é composto basicamente por argamassa, componentes de vedação e outros materiais. O peso de cada um no entulho final pode ser visto no Gráfico 1, onde mais de 90% do entulho (argamassa e componentes de vedação) pode ser triturado para ser usado como agregado em um processo de reciclagem de resíduos.

Gráfico 1 – Composição dos resíduos de obras: média brasileira



FONTE: Corcuera (2000, p. 7)

O tratamento do entulho, usualmente, é o mesmo dado ao lixo: se alguém estiver disposto a pagar por ele será vendido; caso contrário será depositado em algum lugar sem maiores preocupações. Esse tipo de situação só começou a mudar depois que se cresceu a necessidade da conscientização ambiental, mas ainda está longe de ser uma solução definitiva (DELPINO, 2008).

Segundo Santana et al (2011), cerca de 3 bilhões de toneladas de entulho são gerados por ano no mundo. Só no Brasil, estima-se que seja gerado de 220 a 670 quilos de entulho por habitante. O mais preocupante é que estes dados são formulados baseados em aterros oficiais apenas.

Os resíduos gerados pelo setor de construção civil vêm causando sérios problemas ao ambiente e à gestão urbana: esgotamento de áreas de depósito de resíduos; obstrução de elementos de drenagem; contaminação do lençol freático; degradação de mananciais; poluição das vias públicas; e servem ainda para proliferação de insetos e roedores, prejudicando também a saúde pública. Aliado aos problemas causados pelo entulho, associa-se a realidade de que os agregados naturais estão cada vez mais escassos, provocando um grande aumento em seu custo e, conseqüentemente, nas obras (LIMA e ALVES, 2012).

Cabral e Moreira (2011) reconhecem que o entulho provocado pela construção civil é responsável pelo esgotamento de áreas e aterros, já que correspondem a mais de 50% dos resíduos sólidos produzidos pela sociedade. A preocupação não é apenas ambiental já que pode oferecer risco biológico visto que podem possuir em sua composição amianto, gesso de construção e outros resíduos químicos. O Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA

(2015) classifica os resíduos decorrentes de construção, reforma e demolição civil de acordo com o disposto na Tabela 1.

Tabela 1 – Classificação dos resíduos segundo CONAMA

Classificação	Tipologia
Classe A	São os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como: a) de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infra-estrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem; b) de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto; c) de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meios-fios etc.) produzidas nos canteiros de obras;
Classe B	São os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como: plásticos, papel/papelão, metais, vidros, madeiras e outros;
Classe C	São os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem/recuperação, tais como os produtos oriundos do gesso;
Classe D	São os resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como: amianto, tintas, solventes, óleos e outros, ou aqueles contaminados oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros.

FONTE: CONAMA (2015).

Aliado ao grande número de resíduos gerados, o setor de construção civil consome cerca de 210 milhões de toneladas anuais em recursos naturais para produção de concreto (SILVA, 2004).

A maior parte dos municípios não possui estrutura para gestão de resíduos ou de seus consequentes problemas. Até mesmo a retirada de entulho de depósitos clandestinos encarece substancialmente a limpeza urbana, fazendo com que a maior parte das medidas tomadas sejam emergenciais e de curto prazo, ao invés de corretivas de médio e longo prazo (Figura 3) (DIAS, 2007).

Figura 3 – Imagens de depósitos irregulares de entulho



FONTE: <http://rlat05.blog.uol.com.br/images/entulho.JPG>

Melhorias em todo o processo são possíveis e podem auxiliar, se não na quantidade de resíduos, ao menos na sua triagem e forma de disposição como: produzir argamassa apenas em quantidade suficiente; armazenar blocos e telhas em pilhas com quantidades iguais em cima de paletes, evitando quebra e facilitando o transporte; transportar blocos e sacos de cimento em carrinhos adequados para reduzir tanto a quebra dos blocos como o rompimento dos sacos, e manter o canteiro de obras limpo e organizado, influenciando o cuidado no manuseio dos materiais (CABRAL e MOREIRA, 2011).

A intensificação da urbanização gerou um aumento significativo no entulho e este não vem recebendo a solução adequada. Apesar disso, esses resíduos apresentam um grande potencial em relação à reciclagem, para ser utilizado como alternativa ambiental e financeira (LIMA e ALVES, 2012).

Boa parte do entulho gerado pela construção civil continua sendo jogado ao longo de estradas, avenidas, margens de rios e córregos, e ainda que os caçambeiros venham contribuindo para amenizar a situação, nem todas as cidades possuem locais pré-determinados e apropriados para depósito (PORTO e SILVA, 2010).

No atual contexto ambiental do planeta, é de fundamental importância otimizar os processos em toda a cadeia de produção e consumo, reduzindo desperdício e o consequente lixo. O setor de construção não foge dessa regra devido à alta geração de entulho e sua possibilidade de reciclagem podem reduzir as perdas do processo. A reciclagem permite a reutilização dos materiais, reduzindo sua demanda e auxiliando na proteção do ambiente ao reduzir os dejetos que levariam milhares de anos para decomposição natural (CORUERA, 2000).

A reciclagem transforma as montanhas desordenadas de material de construção, em pilhas de matéria-prima, que serve tanto para obras prediais como para obras públicas. Há dois caminhos para transformar as perdas em lucro: um para a iniciativa privada e outro para as prefeituras (CORUERA, 2000, p.15).

De acordo com Silva (2007), os principais impactos sanitários e ambientais relacionados ao entulho estão relacionados à disposição irregular que, consequentemente, degradam a paisagem urbana, ocupa vias públicas prejudicando o tráfego, ficam assoreados em rios e córregos obstruindo canais de drenagem e provocando enchentes, atrai resíduos não-inertes, e multiplica vetores de doenças comprometendo a saúde pública.

Silva (2007) ainda ressalta que muitos desses impactos são visíveis e constantes e atrapalham a qualidade de vida local. Há ainda consequências das consequências: com as

enchentes há perdas de bens, assim como a degradação do ambiente traz a necessidade persistente da preocupação ambiental.

Reciclar os resíduos de obras não é mais considerada uma prática rara entre as construtoras, embora o percentual de reciclagem ainda seja baixo. Nos últimos anos, o mercado de reciclagem de resíduos experimentou uma espécie de boom e vem sendo apoiado por leis e diretrizes, principalmente advindas do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), que direcionou responsabilidades a toda cadeia do setor: geradores, transportadores, receptores e municípios (CAPELLO, 2006).

Além das novas normas e dos ganhos gerados por uma melhor gestão de resíduos, há também o ganho ambiental e financeiro da economia de recursos naturais, visto que o consumo de agregados é cada vez maior, enquanto as jazidas naturais estão cada vez mais escassas e seus produtos, por sua vez, mais caros (CAPELLO, 2006).

Produzindo bens com grandes dimensões físicas, a construção civil é a maior consumidora de recursos naturais de qualquer lugar do planeta, utilizando entre 20% e 50% do total dos recursos naturais consumidos pela sociedade. Esse consumo está diretamente relacionado com as altas taxas de geração de entulho, as necessidades de manutenção e reparos, a vida útil das construções e as perdas de materiais. Durante a vida útil de um edifício, por exemplo, a manutenção consome tantos recursos quanto os despendidos em sua construção (SILVA, 2007).

A maior parte das reservas estão, atualmente, em alto grau de escassez. Além disso, encontram-se cada vez mais longe dos grandes centros de utilização, fazendo com que o produto tenha que ser transportado, implicando em consumo de tempo e combustível, encarecendo o produto final (SILVA, 2007).

Os resíduos de construção possuem propriedades que possibilitam o reaproveitamento. No caso de concretos com agregados, por exemplo, existem vários tipos de uso como contrapisos, calçadas, regularização de pisos sem função impermeabilizante, reforço não armados em edificações, reforço armado em elementos sem presença de umidade, fabricação de componentes de vedação e de alvenaria, meios-fios, entre outros (BATISTA, 2009).

5.2 O processo de reciclagem

Apesar dos grandes problemas que causa, o entulho não deve ser visto apenas como lixo, mas sim como fonte de materiais de grande utilidade para o setor de construção civil.

Ainda que seja amplamente utilizado em aterros, esse uso nem sempre é o mais racional já que ele pode substituir recursos naturais escassos ou se transformar em matéria-prima de alguns componentes de construção com qualidade similar aos produtos tradicionais (PIEREZAN, 2012).

Com a reciclagem é possível produzir agregados substitutos da areia e brita para uso em pavimentação, canalização de córregos e argamassas de concreto. Da mesma forma, podem ser fabricados componentes para construção como blocos e tubos. Além de possuir qualidade similar, a reciclagem é um processo pouco complexo e pode ser realizada com baixo custo (PIEREZAN, 2012).

De acordo com Stolz (2008) a produção de agregados reciclados pouco se diferencia da produção de agregado britado. Ambas incorporam o uso de britadores, peneiras e equipamentos de transporte. O método básico resume-se na britagem do entulho para produção de grânulos, sendo este de tamanho definido conforme a destinação final.

Stolz (2008) também explica que existem três tipos de plantas de usinas de reciclagem: de primeira geração, de segunda geração e de terceira geração. As plantas de primeira geração são aquelas caracterizadas pela ausência de facilidades para remoção de contaminantes e são usadas com mais frequência na reabilitação de pavimentos. As plantas de segunda geração possui design simples onde grandes pedaços de materiais são removidos manualmente e o restante é triturado, peneirado e passado para eliminação de contaminantes (são as plantas utilizadas atualmente). As plantas de terceira geração estão previstas para um futuro próximo onde todo material demolido deverá ser levado à usina, processado e vendido sem a necessidade de transporte de grande quantidade de resíduos para aterros de entulho.

Stolz (2008) ressalta que tanto para qualidade quanto para o custo, entulho deve ser separado por fluxos para evitar o contato com materiais contaminantes; se possível, a separação deve começar no canteiro de obras.

A reciclagem dos resíduos do setor de construção pode ser feita através de equipamentos britadores e seu processo resume-se, basicamente, em seleção, limpeza, trituração e classificação. Após a classificação dos materiais, utilizam-se os resíduos como agregado para concreto. No entanto, devido à sua granulometria, recomenda-se que esse tipo de agregado apenas seja utilizado em elementos não-estruturais como blocos de vedação, base de pavimento, argamassa de revestimento, entre outros (LIMA e ALVES, 2012).

Cabral e Moreira (2011) apontam que os equipamentos necessários para uma usina de reciclagem de entulho são simples: britador, peneira e esteira. Ainda que o processo seja simples, pode gerar grande variedade de materiais e benefícios como: reuso de cacos de

blocos e telhas em substituição da brita na produção de concreto; trituração do material cerâmico para uso como pó aglomerante em argamassas de revestimento ou como filer na produção de concretos estruturais; produção de tijolo de solo-cal e de tijolo de concreto. Delpino (2008) aponta as principais formas de utilização dos resíduos reciclados na tabela 2.

Tabela 2 – Uso recomendado para resíduos reciclados

Produto	Características	Uso recomendado
Areia Reciclada	Material com dimensões máxima característica inferior a 4,8 mm, isento de impurezas, provenientes da reciclagem de concreto e blocos de concreto.	Argamassa de assentamento de alvenaria de vedação, contrapiso, solo-cimento, blocos e tijolos de vedação.
Pedrisco Reciclado	Material com dimensões máxima característica de 6,3 mm, isento de impurezas, proveniente da reciclagem de concreto e blocos de concreto.	Fabricação de artefatos de concreto, como blocos de vedação, pisos intertravados, manilhas de esgoto, entre outros.
Brita Reciclada	Material com dimensões máximas característica inferior a 39 mm, isento de impurezas, provenientes da reciclagem de concreto e blocos de concreto.	Fabricação de concretos não estruturais e obras de drenagem.
Bica Corrida	Material proveniente da reciclagem de resíduos da construção civil (blocos de concreto, resto de cerâmicas e etc.), livre de impurezas, com dimensão máxima característica de 63 mm.	Obras de base e sub-base de pavimentação, reforço e subleito de pavimentos, além de regularização de vias não pavimentadas, aterros e nivelamento topográfico de terreno.
Rachão	Material com dimensão máxima característica inferior a 150 mm, isentos de impurezas, provenientes da reciclagem de concreto e blocos de concreto.	Obras de pavimentação, drenagem e terraplanagem.

FONTE: Delpino (2008, p.23).

Segundo Leal (2001) para que seja reciclado, o entulho pode começar a ser separado já dentro do canteiro de obras: os que são de madeira, os que são de metal, de materiais cimentícios, materiais cerâmicos, plásticos e outros. Desse material que foi separado, os de origem mineral (cimentício e cerâmico) podem ainda ser reaproveitados na própria obra, gerando benefícios financeiros, já que a construtora não terá que descartar um material que foi pago, nem transportá-lo para outro lugar.

No caso das demolições, Leal (2001) explica que a seleção é diferente, já que os materiais acabam misturados. Nessas situações, geralmente o reaproveitamento é feito apenas pela empresa que fez a coleta e que recicla o material; a construtora, por sua vez, não costuma se beneficiar de forma significativa.

Leal (2001) também expõe o destino que deve ser dado a cada tipo de entulho:

- Plásticos
Origem: fiação, tubulações, diversos.
Reciclagem e cuidados: os materiais são encaminhados para indústrias especializadas nesses compostos que, após processar o material, podem recolocá-lo no mercado, inclusive em outras utilizações, como embalagens.
- Materiais cimentícios
Origem: argamassas, concretos, blocos para alvenaria.
Reciclagem e cuidados: os materiais são britados e reaproveitados como agregado. Deve-se tomar cuidado para não deixar gesso no entulho, pois compromete o desempenho do material reciclado. Quando finamente dividido, pode ser empregado como material pozolânico. Eventualmente, pode ser misturado com material cerâmico, desde que mantida a homogeneidade. Nesse caso, o desempenho é inferior àquele verificado com o emprego exclusivo de material cimentício.
- Madeiras
Origem: fôrmas, escoramentos, sobras da carpintaria ou marcenaria.
Reciclagem e cuidados: as sobras são encaminhadas para indústrias de processamento de madeiras. A reciclagem é dificultada se o material estiver pintado, pois a tinta pode ser tóxica. Em geral, a madeira é empregada para a produção de chapas de madeira aglomerada ou, em casos mais raros, usada na alimentação de fornos.
- Materiais cerâmicos
Origem: blocos, telhas, pisos, pastilhas de revestimentos.
Reciclagem e cuidados: os materiais são britados e reaproveitados como agregado não estrutural. Quando finamente dividido, é recomendado como aditivo pozolânico. Eventualmente, pode ser misturado com material cimentício, desde que mantida a homogeneidade. Nesse caso, o desempenho pode melhorar.
- Metais
Origem: tubulações, esquadrias, fôrmas, ferramentas.
Reciclagem e cuidados: são encaminhados como sucata para depósitos de ferrovelho ou siderúrgicas. Atualmente, 95% do aço dos vergalhões produzidos no Brasil vêm de reaproveitamento de sucata, oriunda sobretudo de navios antigos.
- Outros
Origem: gesso, tecidos, papéis.
Reciclagem e cuidados: podem ser processados nas indústrias especializadas em cada tipo de material. No caso do gesso, deve-se tomar cuidado para não misturar com resíduos cimentícios, pois a mistura expande em contato com a água e prejudica o desempenho do material. No caso de revestimento de gesso em paredes de alvenaria, a proporção de gesso é inferior ao limite de comprometimento. O maior cuidado deve ser tomado com paredes e forros de gesso acartonado.

De acordo com Corcuera (2000) o processo e o maquinário da reciclagem podem variar de acordo com a necessidade: as usinas municipais, por exemplo, necessitam de máquinas de mineração enquanto algumas obras podem utilizar equipamento móvel. Existem dois métodos para trituração: moedores e britadores.

Silva e Santos (2014) dividem o processo de reciclagem de resíduos atual em fases. Na primeira delas, o material é coletado e estocado em um pátio, separados por tipos e tamanhos, eliminando-se materiais inadequados (Figura 4). O peso do material é calculado da seguinte forma: primeiro o caminhão passa pela balança com o material coletado e afere seu peso; depois descarrega o material no pátio e se pesa novamente (Figura 5).

Após a separação, o material é encaminhado para a britagem. Em seguida, o material granulado é encaminhado à peneira através de correias transportadoras (Figuras 6 e 7). É na

peneira que se consegue as granulometrias diferentes de acordo com o material que se pretende produzir. Após o peneiramento já é possível observar que o material fica semelhante aos agregados tradicionais (Figura 8), porém apenas são validados através de um controle de qualidade de acordo com as normas da ABNT e do CONAMA. Depois de prontos, os agregados são vendidos a um preço menor do que os recursos tradicionais, mas seu uso ainda é restrito a obras não estruturais (SILVA e SANTOS, 2014).

Figura 4 – Estocagem de resíduos



FONTE: Silva e Santos (2014, p.4)

Figura 5 – Balança para caminhões



FONTE: Silva e Santos (2014, p.5)

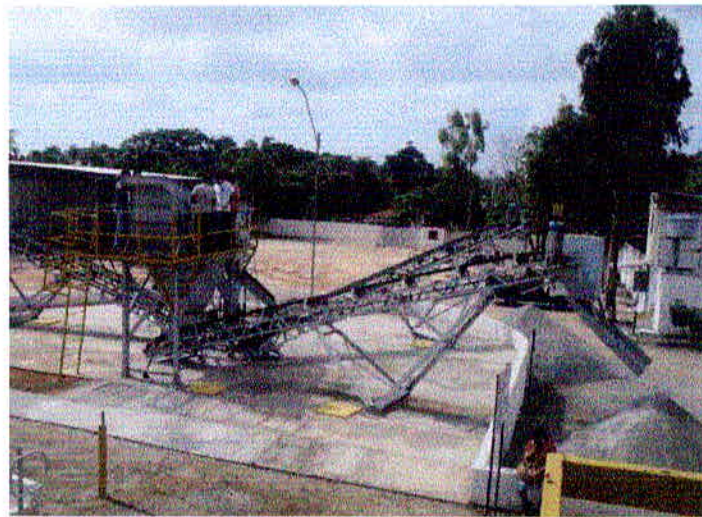
Também é necessário salientar que uma estação de reciclagem necessita atentar para os cuidados ambientais. Como tratamento acústico ao ruído que não chega a 50 dB, podem ser colocadas mantas de borracha para isolamento e para tratamento das nuvens de pó podem ser colocados nebulizadores na entrada do triturador e na correia que faz a pilhagem. Pode-se ainda criar uma barreira à entrada de passantes (Corcuera, 2000)

Figura 6 – Peneira



FONTE: Silva e Santos (2014, p. 6)

Figura 7 – Correias transportadoras



FONTE: Santos e Silva (2014, p. 7)

Figura 8 – Material reciclado acabado



FONTE: Santos e Silva (2014, p. 7)

5.3 Vantagens e limitações do reaproveitamento de entulho

De acordo com Porto e Silva (2010), os resíduos reaproveitados podem ser usados em forma de agregado para concreto não estrutural, substituindo os agregados convencionais (areia e brita). Essa utilização representa uma boa economia no custo das obras.

Corsini (2011) também aponta a redução de custos como vantagem, que costuma ficar em torno de 15% e 30%, um desconto que poderia aumentar se houvesse incentivo fiscal. O autor também acredita que, com o tempo, a substituição será inevitável já que a areia e a brita estão cada vez mais cara e escassas.

Além da redução de custo do próprio produto, economiza-se também com o transporte de matéria prima e com transporte de entulho. Aliado a isto, os projetos com grande geração de resíduos podem ser direcionados à renovação e recuperação de vias e centros urbanos dado o baixo custo e à vantagem ambiental (SILVA, 2007).

A vantagem ambiental também pode-se destacar como vantagem competitiva para as empresas: como os produtos costumam ter qualidades compatíveis para sua utilização, o material reciclado pode ser vendido ou com o preço menor ou com uma espécie de selo verde como diferencial: a reciclagem é uma oportunidade de transformar despesas em fonte de faturamento ou, no mínimo, reduzir as despesas de disposição (SILVA, 2007).

Segundo Lima e Alves (2012), as principais vantagens de se reciclar o entulho são os benefícios sociais e ambientais consequentes da melhoria da qualidade de vida da população por conta da redução da poluição e suas consequências. A reciclagem reduz a deposição de resíduos de forma inadequada, reduz a necessidade de extração de matérias-primas naturais e diminui a demanda por áreas públicas de deposição de entulho.

Silva (2007) ressalta que a contribuição ambiental é importante mesmo nos lugares em que os recursos são abundantes, visto que a extração prejudica a paisagem e afeta ecossistemas.

Outro ponto abordado por Silva (2007) como vantagem é as consequências da reciclagem para administração pública como redução de custos com remoção de depósitos clandestinos, aumento da vida útil de aterros sanitários, redução nos custos de pavimentação e infraestrutura urbana e criação de novas oportunidades de negócios e consequente geração de empregos.

Para Pierezan (2012), por sua vez, a vantagem ambiental pode se tornar uma limitação já que o consumo de água é significativamente maior devido à grande absorção do entulho.

Delpino (2008), por sua vez, aponta que a principal limitação desse concreto é a baixa resistência à compressão. Já Silva (2007) acredita que a limitação principal deste processo é a chance do material estar contaminado.

Corcuera (2000) cita ainda que a opção pela não reciclagem tem vários prejuízos como montes de entulho que agregam lixo e se tornam abrigo para animais causadores de doenças, entulho nas vias públicas, entulho em córregos que afetam a drenagem e estabilidade das encostas, desperdício de recursos naturais não renováveis, e outros imensuráveis custos ambientais que, de forma ou de outra, afetará toda a vida no planeta.

A reciclagem do entulho tem como meta transformar custos ambientais e sociais em custos públicos ou privados, onde todos os agentes intervêm e são responsáveis pelo processo e por elaborar as melhores soluções possíveis (CORCUERA, 2000).

5.4 O concreto e suas propriedades

De acordo com Dalpino (2008) o concreto "é um material resultante da mistura eficiente e proporcionada de um aglomerante (cimento), agregados miúdos, agregados graúdos e água". Considerado como o material mais importante para a construção, o concreto possui várias aplicações como as estruturas, pavimentos, revestimentos, paredes, fundações, entre outras.

O concreto possui diversas propriedades que variam de acordo com o material de cada tipo de obra. O conhecimento dessas propriedades é imprescindível visto que podem ser essenciais em algumas obras e dispensáveis em outras. A impermeabilidade do concreto, por exemplo, é importante para obras hidráulicas, mas não é tão importante para estruturas (DALPINO, 2008).

Dalpino (2008) caracteriza as propriedades do concreto da seguinte forma:

- Massa específica: importante nos cálculos do peso próprio da estrutura; varia de acordo com a execução e pode ser dividida em massa de concreto armado ($2,4 \text{ t/m}^3$), de concreto leve ($1,9 \text{ t/m}^3$) e em massa de concreto pesado ($3,5$ a $5,5 \text{ t/m}^3$).
- Resistência mecânica: principal propriedade do concreto, pode ser influenciada por diversos fatores como a relação entre água/cimento e a idade do concreto. Quanto mais água em relação ao cimento, menos resistente será; e quanto maior a idade do concreto, maior sua resistência mecânica.
- Durabilidade: também depende da relação entre água/cimento.

- Permeabilidade e absorção: depende dos materiais utilizados na preparação do concreto (tanto quantidade como qualidade e pureza), e dos métodos de preparação e tratamento

A substituição de agregados naturais por agregados reciclados em uma nova matriz de concreto impõe mudanças sensíveis em suas características, tanto em estado fresco quanto em estado endurecido (WERLE, 2010).

De acordo com Leite (2001) a utilização de material reciclado como agregado para concreto necessita das mesmas misturas experimentais que o concreto tradicional para que se estabeleça a quantidade de água suficiente. No entanto, o autor aponta que o excesso de água compromete o uso do cimento com a resistência desejada e o custo acaba não sendo tão compatível como o esperado.

Por esse motivo, a produção de concreto reciclado necessita de medidas que interfiram no uso de água como a pré-umidificação dos agregados e utilização de aditivos superplastificantes. Essas medidas permitem a redução do transporte interno de água da pasta de cimento para o agregado seco e poroso (LEITE, 2001).

5.5 Comparativo entre concreto tradicional e concreto reciclado

De acordo com Tenório (2007) a principal diferença entre o concreto tradicional e o concreto reciclado se dá por conta da porosidade dos materiais. Todas as propriedades do concreto recebem influência direta do número, tamanho e tipo dos poros presentes nos agregados, na pasta de cimento e na zona de transição. As diferenças são melhores especificadas nos tópicos a seguir.

5.5.1 Massa específica

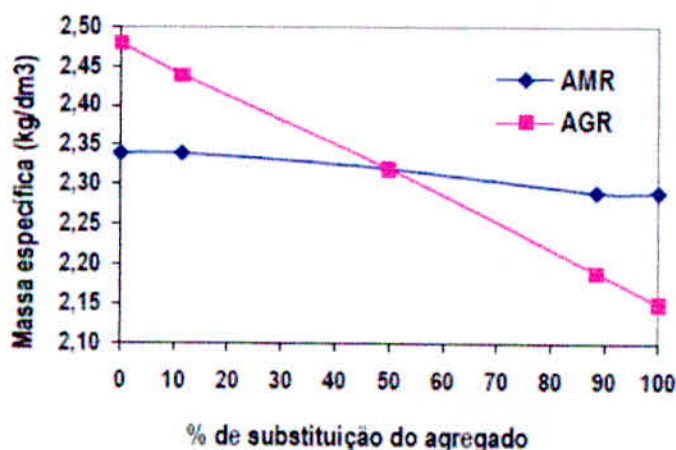
A massa específica do concreto reciclado fresco é menor que a do concreto tradicional por conta da menor massa específica do agregado e da quantidade de vazios. A redução da massa específica gira em torno de 5% a 10% quando comparada ao concreto tradicional, sendo que quanto maior a densidade dos materiais, menor será a redução da massa (LEITE, 2001).

Fonseca (2006) recorda que a composição dos resíduos também influencia a massa específica e quanto mais densos os materiais, maior a massa. A alta porosidade também tem

grande relevância visto que, quando usa-se um agregado altamente poroso, com dimensão máxima maior do que 19 mm, a massa específica será inferior a 1440 kg/m^3 e o produto não atingirá a resistência mínima de compressão exigida para concreto leve estrutural, que é 17MPa aos 28 dias. Os concretos tradicionais pesam entre 1600 a 1760 kg/m^3 .

Leite (2001) analisou o efeito isolado do teor de substituição de agregados miúdos e graúdos sobre a massa específica do concreto e observou que quanto maior a substituição do agregado natural pelo reciclado, menor é a massa específica, como pode ser visto no Gráfico 2.

Gráfico 2 – Efeito isolado da percentagem de agregado miúdo reciclado (AMR) e agregado graúdo reciclado (AGR) sobre a massa específica do concreto fresco



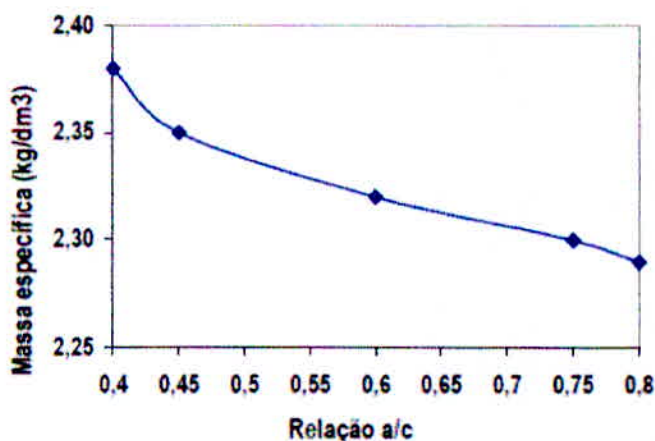
FONTE: Leite (2001, p. 169).

Para Leite (2001) essa variação se deve especialmente à porosidade do agregado. Além disso, ressalta que o tamanho do agregado também tem influência sobre a massa específica, sendo que quanto maior o grão, maior a porosidade.

Leite (2001), no entanto, não limitou-se a observar o tamanho dos agregados e também analisou o efeito isolado da relação entre a água/cimento sobre a massa específica. Como resultado, encontrou-se uma redução da massa específica relacionada ao aumento da relação água/cimento, como ilustrado pelo Gráfico 3.

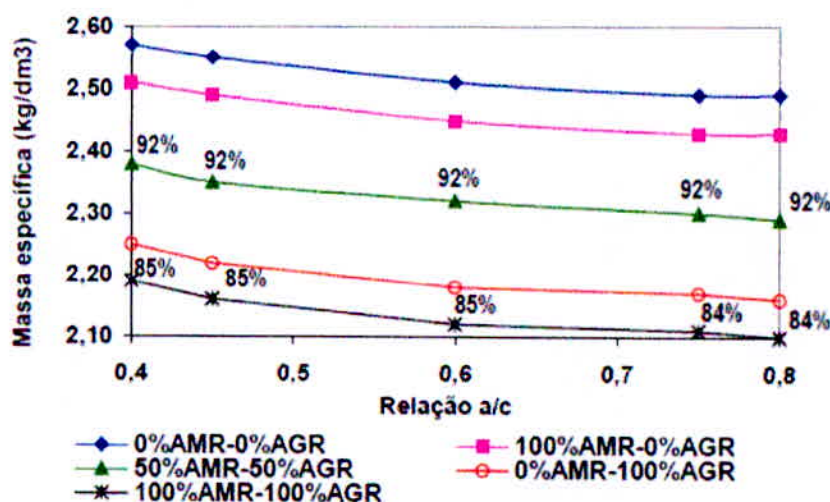
O resultado encontrado por Leite (2001) também se deve à porosidade: quanto maior a quantidade de água, menor a quantidade de cimento, gerando redução da massa específica. A partir desse resultado, Leite (2001) fez uma análise combinada dos fatores, representada pelo Gráfico 4.

Gráfico 3 – Efeito isolado da relação água/cimento sobre a massa específica do concreto fresco



FONTE: Leite (2001, p.150).

Gráfico 4 – Efeito combinado de água/cimento e porcentagem de substituição dos agregados



FONTE: Leite (2001, p. 170).

Os resultados encontrados por Leite (2001) apontam para uma redução de até 16% da massa do concreto. Em suma, quanto maior o teor de substituição do agregado e maior a relação entre água/cimento, menor a massa específica.

5.5.2 Consistência

Para Tenório (2007), os concretos confeccionados com agregados reciclados são menos consistentes. Essa consistência é afetada por vários fatores como o consumo de água,

cimento e agregado, adições e aditivos. Os agregados reciclados possuem maior quantidade de grãos mais finos, sua forma é mais lamelar ou algular, sua textura é mais rugosa e sua porosidade é maior. Tudo isso prejudica a consistência do concreto.

Tenório (2007) também aponta que os efeitos negativos dos agregados reciclados sobre a consistência podem ser reduzidos através do aumento da quantidade de água e cimento, de uso de adições (como fileres, por exemplo), aumento do uso de aditivos plastificantes ou superplastificantes, da eliminação de parte da fração fina dos agregados ou do uso de agregados graúdos mais densos.

Para Leite (2001) a definição da consistência do concreto reciclado é um processo difícil visto que, por se tratar de uma grande quantidade de água, a avaliação das misturas ficava prejudicada pela variação da taxa de absorção dos agregados, que mudava com o tempo de contato entre o material e a água. A instabilidade dificulta a determinação de consistências padrão.

5.5.3 Trabalhabilidade

Werle (2010, p.37) define trabalhabilidade como “propriedade que determina o esforço necessário para manipular uma quantidade de concreto fresco, com perda mínima de homogeneidade”.

Fonseca (2006) acredita que a trabalhabilidade do concreto é um dos conceitos centrais que, apesar de não se referir a uma propriedade intrínseca do concreto, está diretamente ligada à sua aplicação. O autor define a trabalhabilidade como fator facilitador ou dificultante do transporte, da aplicação e da forma como é adensado e, conseqüentemente, é fator que pode facilitar ou dificultar a segregação durante as operações.

Para Leite (2001, p.79), a trabalhabilidade do concreto é uma das propriedades mais afetadas pelo uso de material reciclado e isso se deve, principalmente, a sua forma mais irregular, textura mais áspera e alta taxa de absorção. O autor ainda explica:

A menor trabalhabilidade leva à necessidade do aumento da quantidade de água das misturas para promover uma melhoria nesta propriedade. Entretanto, esta prática pode agravar outras propriedades do concreto no estado endurecido. Como é mais difícil alterar a forma e a textura dos grãos, devem ser tomadas medidas para diminuir a absorção de água do material, ou pelo menos compensá-la diminuindo o seu efeito danoso sobre as propriedades do concreto no estado fresco.

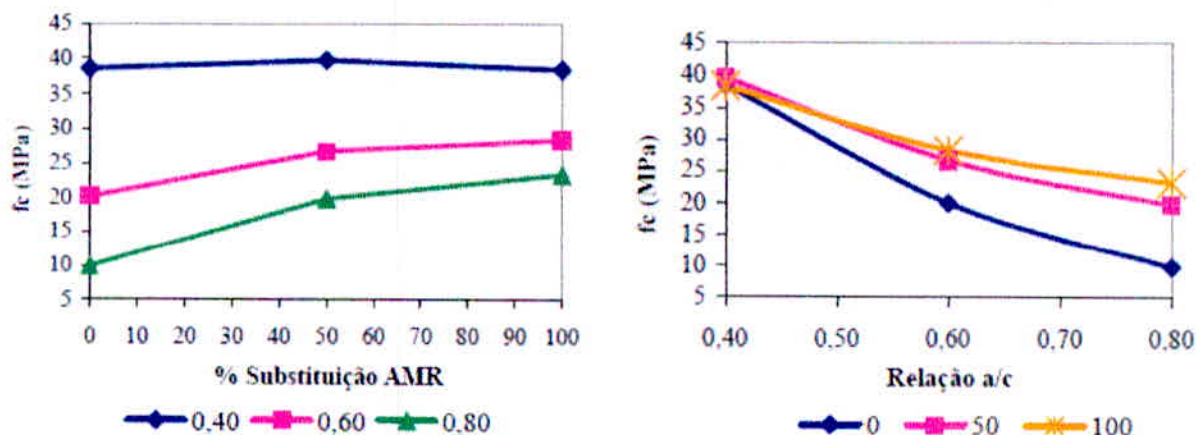
De acordo com Leite (2001) a granulometria também pode interferir na trabalhabilidade, visto que o agregado miúdo reduz mais a trabalhabilidade, enquanto a utilização de apenas concreto graúdo apresenta pouca diferença para o concreto convencional.

A alta taxa de absorção de água também é um grande fator determinante para a alteração da trabalhabilidade. Apesar da pré-umidificação de agregados reciclados atenuar o problema, aliada ao uso de aditivos plastificantes ou superplastificantes atenuarem esse problema, tais procedimentos podem incidir diretamente sobre o custo final do concreto reciclado e sua viabilidade (LEITE, 2001).

5.5.4 Resistência à compressão

Vieira, Molin e Lima (2004) fizeram ensaios de resistência à compressão axial aos 28 dias, considerando variadas relações água/cimento e variados percentuais de substituição do agregado convencional para o agregado miúdo reciclado. O resultado alcançado, mostrando o efeito percentual de substituição de agregados em função das relações de água/cimento, é representado pelos Gráficos 5 e 6.

Gráficos 5 e 6 – Efeito do percentual de substituição dos agregados em função de três relações água/cimento e função da relação água/cimento para os diferentes teores de agregados miúdos reciclados (AMR)



FONTE: Vieira, Molin e Lima (2004, p. 5).

Vieira, Molin e Lima (2004) explicam que, através dos resultados obtidos, a resistência diminui na mesma proporção em que se aumenta a relação água/cimento. Além disso, para as três relações água/cimento analisadas, quanto mais se substituiu o agregado natural, maior ficava a resistência à compressão.

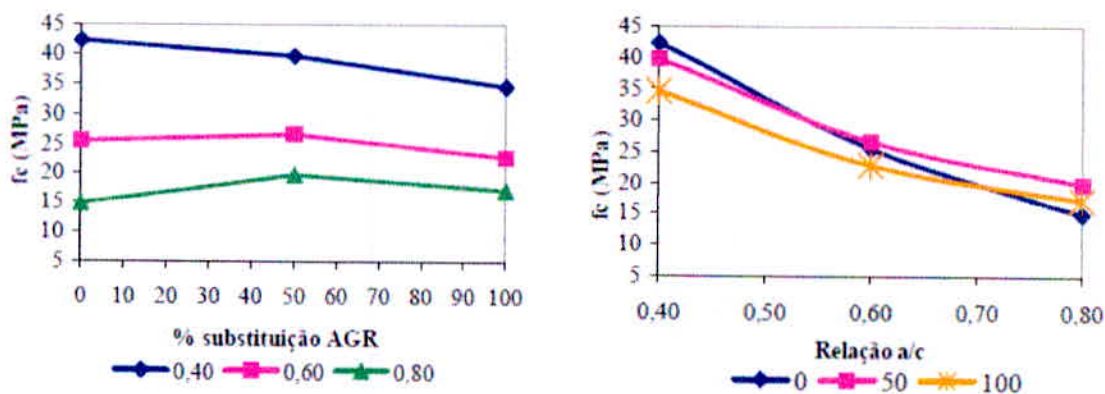
Para Vieira, Molin e Lima (2004) o que favoreceu a resistência à compressão foram as características dos agregados reciclados como a textura e a granulometria. Além disso, o grande percentual de agregados finos auxilia a mistura a ter um efeito de compactação, obtendo um maior fechamento dos vazios. Essas características, somadas à maior absorção do agregado reciclado, permitem uma maior aderência entre a pasta e o agregado. A única ressalva deixada pelos autores foi a probabilidade de ocorrência da reação álcali-sílica em função da presença de alguns minerais de sílica potencialmente reativos que vez ou outra estão presentes em alguns agregados.

O mesmo ensaio foi feito por Vieira, Molin e Lima (2004) com agregados reciclados graúdos, cujo resultado é representado pelos Gráficos 7 e 8.

Este ensaio de Vieira, Molin e Lima (2004) mostrou que quanto menor a relação de água/cimento e um maior percentual de agregado graúdo reciclado, menores ficavam as resistências. Para os autores, isso se atribui à baixa resistência e densidade do grão agregado.

Como em concretos convencionais a menor relação de água/cimento tende a aumentar a resistência, o agregado graúdo reciclado passa a ser um fator limitante. Entretanto este efeito negativo pode ser amenizado com maior relação água/cimento porque, apesar de possuir uma alta taxa de absorção, a resistência à compressão não se limita à resistência do agregado e sim pela resistência da pasta de cimento endurecida (VIEIRA, MOLIN e LIMA, 2004).

Gráficos 7 e 8 – f_c em função da percentagem de agregado graúdo reciclado e f_c em função da relação água/cimento para diferentes percentagens de agregado graúdo reciclado (AGR)



FONTE: Vieira, Molin e Lima (2004, p.6).

Vieira, Molin e Lima (2004) também encontraram resultados referente ao desempenho da atuação conjunta de agregados miúdos e graúdos reciclados, onde o melhor desempenho se deu nos concretos com 50% de substituição de agregado graúdo por agregado

gráudo reciclado e 100% de agregado miúdo por agregado miúdo reciclado ou com 50% de ambos, já que com esses percentuais de substituição não houve perda da resistência.

Leite (2001) fez uma análise mais detalhada sobre o consumo de cimento e resistência à compressão dos concretos produzidos, mostrando os resultados através da Tabela 3.

Tabela 3 – Consumo de cimento e resistência à compressão

a/c	Tipo de traço	a/c _{real}	C (kg/m ³)	C _{rec} / C _{ref}	f _c _{real} (MPa)	f _c _{calculado} (MPa)	f _c _{real} / f _c _{calculado}
0,40	Referência	0,40	449	-	41,0	39,6	1,04
	50 % AMR / 0 % AGR	0,49	431	0,96	33,4	40,5	0,82
	0 % AMR / 50 % AGR	0,48	433	0,96	29,3	34,6	0,85
	50 % AMR / 50 % AGR	0,54	422	0,94	28,9	35,6	0,81
	100 % AMR / 100 % AGR	0,71	394	0,88	21,6	31,6	0,68
0,60	Referência	0,60	299	-	22,1	19,6	1,13
	50 % AMR / 0 % AGR	0,69	291	0,97	20,1	20,6	0,98
	0 % AMR / 50 % AGR	0,70	290	0,97	18,4	19,4	0,95
	50 % AMR / 50 % AGR	0,79	283	0,94	19,9	20,4	0,98
	100 % AMR / 100 % AGR	0,99	268	0,90	15,8	21,1	0,75
0,80	Referência	0,80	224	-	14,3	13,0	1,10
	50 % AMR / 0 % AGR	0,90	219	0,98	15,3	13,9	1,10
	0 % AMR / 50 % AGR	0,92	219	0,97	12,4	14,4	0,86
	50 % AMR / 50 % AGR	1,07	212	0,94	10,2	15,3	0,67
	100 % AMR / 100 % AGR	1,30	202	0,90	10,7	17,7	0,60

FONTE: Leite (2001, p. 166).

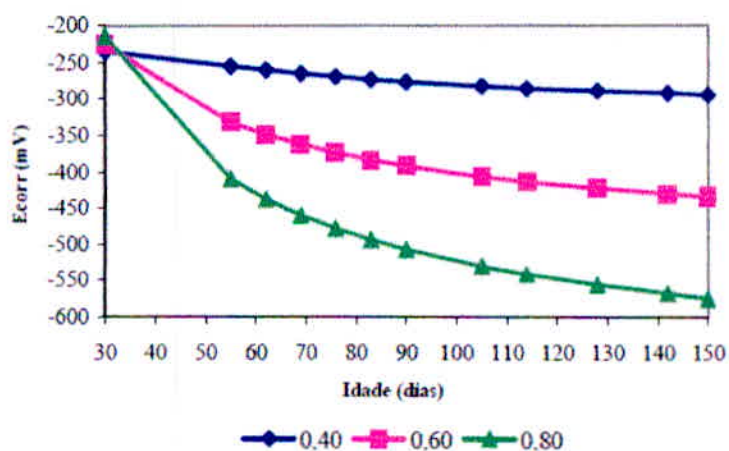
Os resultados apresentados por Leite (2001) foram semelhantes aos encontrados por Vieira, Molin e Lima (2004). Mostrando melhores resultados em 50% de substituição de cada tipo de agregado. Leite (2001), no entanto, não mostrou a relação de substituição apenas de agregado miúdo como fizeram os outros autores, os quais apontam que são responsáveis pelo aumento na resistência. Entretanto, a autora reforçou que o aumento da relação água/cimento pode deteriorar significativamente a resistência à compressão. Seria uma alternativa fácil aumentar a quantidade de cimento na mistura para reforçar a resistência nesses casos, mas os custos finais de tal adição poderia deixar o concreto de agregado reciclado inviável quando comparado ao natural.

5.5.5 Durabilidade

Vieira, Molin e Lima (2004) fizeram experimentos de durabilidade onde o material foi submetido a ciclos de imersão e secagem por um período de 150 dias em uma solução de

cloreto de sódio agressiva, onde foram registradas as leituras eletroquímicas de potencial de corrosão (E_{corr}) e resistência de polarização (RP) das barras de aço contidas no material. O Gráfico 9 mostra o efeito potencial de corrosão em função da idade e das diferentes relações de água/cimento utilizadas.

Gráfico 9 – Potencial de corrosão em função da idade para as três relações água/cimento utilizadas



FONTE: Vieira, Molin e Lima (2004)

De acordo com o gráfico apresentado por Vieira, Molin e Lima (2004), à medida em que aumenta a idade, aumenta-se também o potencial de corrosão, sendo estes mais acentuados em relações água/cimento maiores, implicando diretamente na porosidade do concreto.

Apesar deste experimento ser um dado meramente qualitativo na avaliação da corrosão das armaduras, já que não é possível extrair uma taxa real de corrosão de seus valores, suas medidas evidenciam com mais clareza uma possibilidade de início de corrosão nas barras (VIEIRA, MOLIN e LIMA, 2004).

Neste experimento, o maior desempenho de substituição encontrado foi de 100% para agregado miúdo por agregado miúdo reciclado e 0% por agregado graúdo por agregado graúdo reciclado, para todas as funções de água/cimento analisadas. Por outro lado, a substituição total de todos os agregados levaram ao pior desempenho em relação aos outros concretos (VIEIRA, MOLIN e LIMA, 2004).

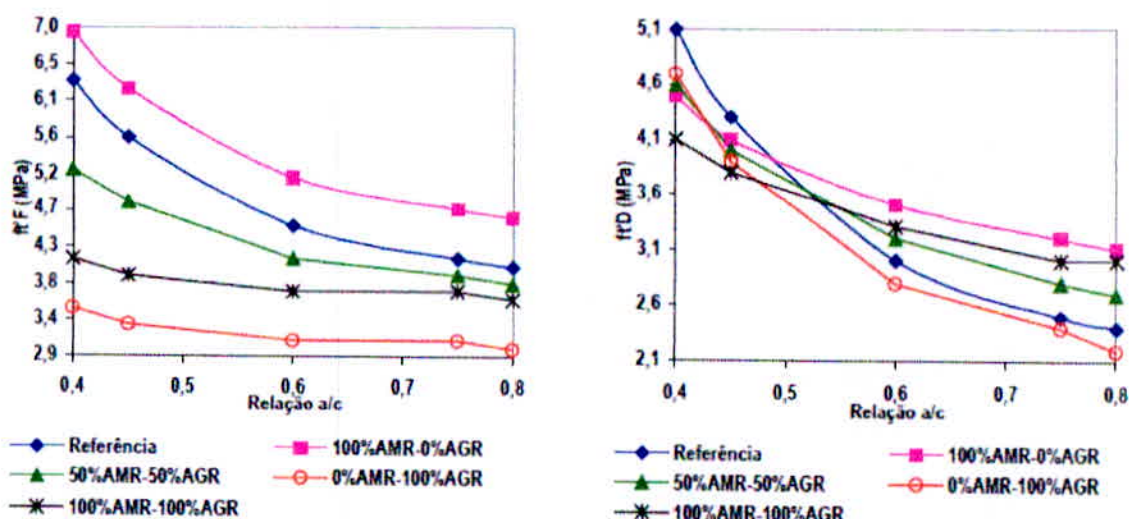
Vieira, Molin e Lima (2004) enfatizam que a durabilidade de qualquer concreto, convencional ou reciclado, é reduzida por uma maior relação de água/cimento, devido à porosidade resultante. Como o concreto reciclado necessita de uma maior relação, não deve ser usado para fins estruturais.

5.5.6 Resistência à tração

A pesquisa de Werle (2010) aponta que a resistência à tração de concretos reciclados é influenciada pelas características da matriz e da zona de transição entre os agregados e a pasta. Observou-se neste trabalho uma redução de 16% na resistência à tração aos 7 dias de cura e 4% aos 28 dias de cura em relação ao concreto tradicional. A autora também ressalta que quanto maior a substituição do agregado tradicional pelo reciclado, menor é a resistência à tração.

Com o intuito de comparar de forma mais genérica a resistência à tração dos concretos reciclados aos concretos tradicionais, Leite (2001) resumiu suas análises nos Gráficos 10 e 11, que mostram as curvas de resistência à tração na flexão em função de água/cimento, e de resistência à tração por compressão diametral em função da relação de água/cimento, respectivamente.

Gráficos 10 e 11 – Curvas de resistência à tração em função de água/cimento



FONTE: Leite (2001, p.200).

Os gráficos apresentados por Leite (2001) mostram que, na resistência à tração na flexão, todos os traços com teores de agregados graúdos diferentes de 0% apresentaram redução. No entanto, o traço de 100% de agregados miúdos reciclados e 0% de graúdos apresentaram resistência maiores do que os tradicionais. O resultado não se repete na resistência em compressão diametral, visto que o concreto referência apresentou melhores resultados.

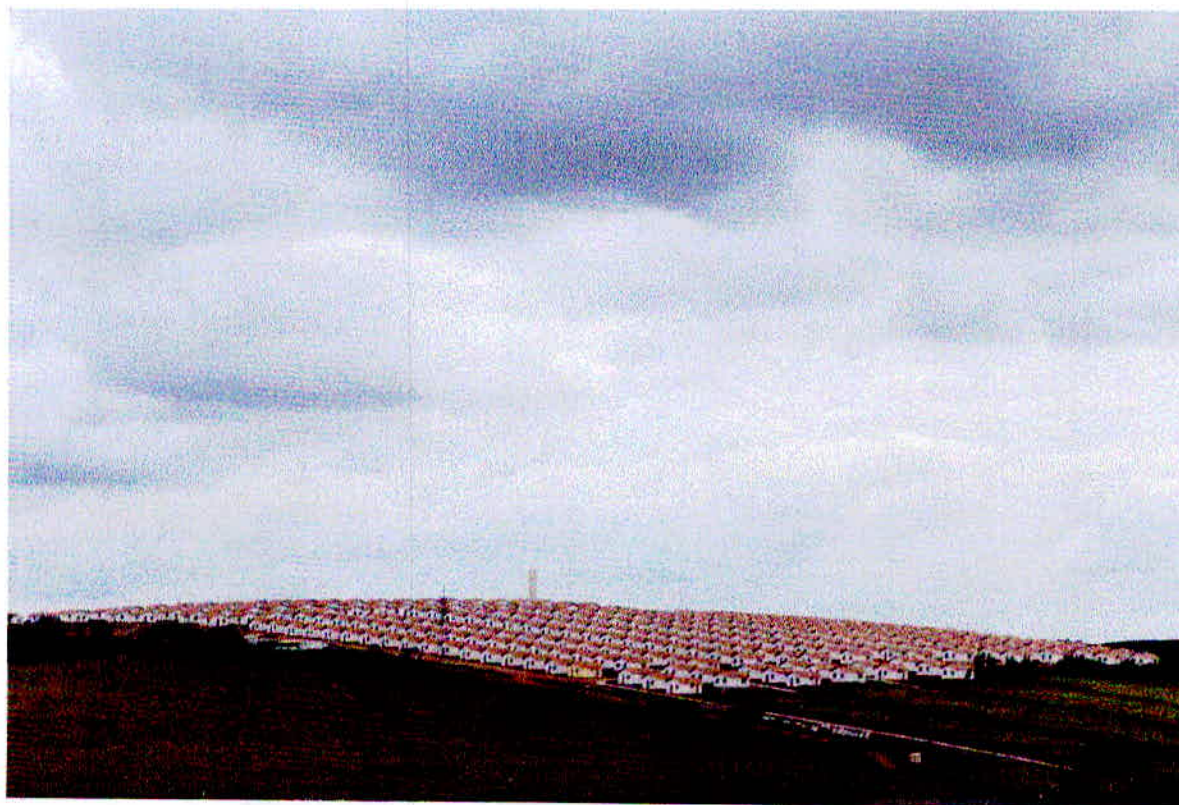
6 ESTUDO DE CASO

Nesta etapa do estudo será mostrada como pode ser feita a substituição do agregado natural pelo reciclado para fabricação do concreto que será usado na calçada, nas rampas e nos contrapisos, utilizando o concreto com finalidade não estrutural. A partir dessa substituição será feito um comparativo de custo e resistência para verificar a viabilidade da substituição.

6.1 Local

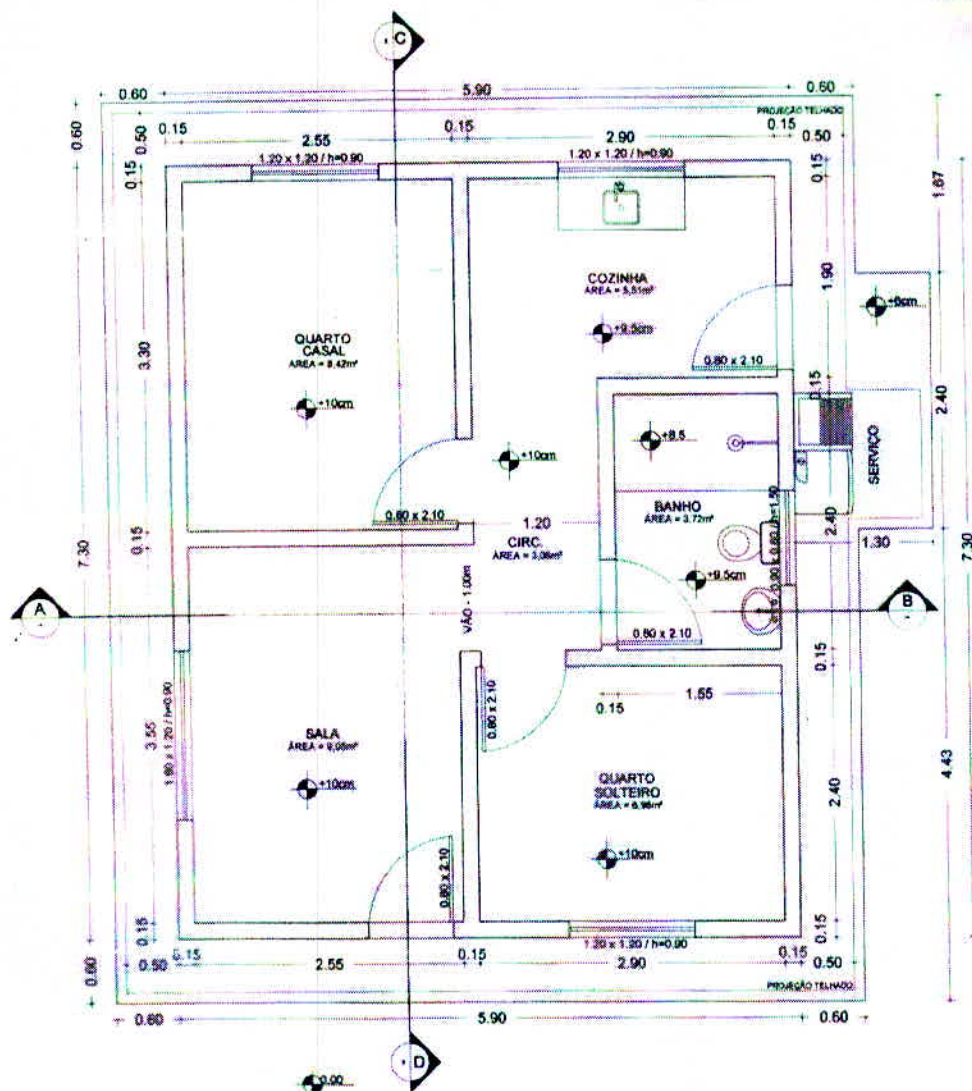
O local do experimento é o Conjunto Habitacional Jardim das Esmeraldas, na Avenida Barão da Boa Esperança, em Três Pontas. O mapa do loteamento e disposição das construções pode ser visto na Figura 9. Cada uma das casas já possui um projeto arquitetônico específico mostrado nas Figuras 10 e 11.

Figura 9 – Mapeamento do Conjunto Habitacional Jardim das Esmeraldas



FONTE: o próprio autor

Figura 10 – Projeto Arquitetônico



○ PLANTA BAIXA
 ESC - 1/50
 ÁREA ÚTIL = 36,72m²
 ÁREA TOTAL = 43,07m²

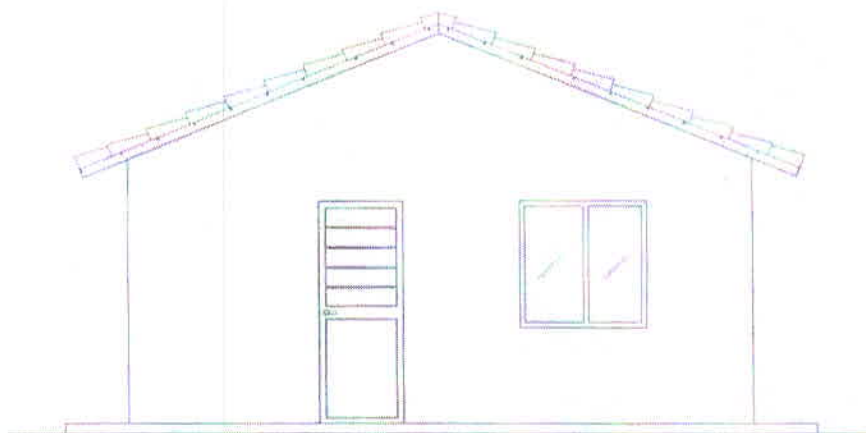
Obs.:

- O lavatório do banheiro deve ser de fixação sem coluna;
- Soleira nas portas externas e banheiro;
- Os peitoris devem ter calçamento de 3% para o lado externo;
- Os peitoris devem possuir frisos na extremidade visando evitar escorrimento ao longo da fachada.

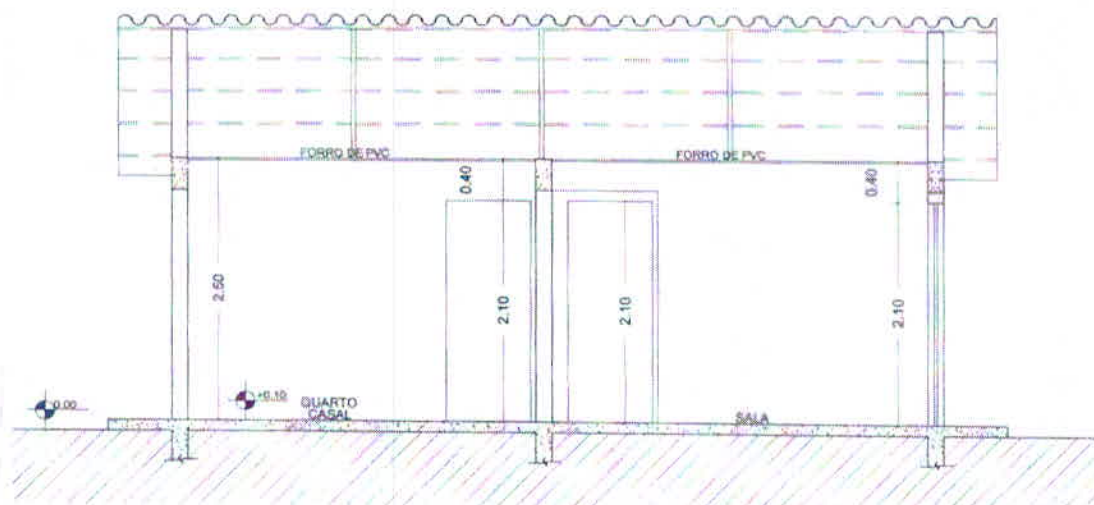
FONTE: Documento oficiais do Conjunto Habitacional

Figura 11 – Fachada

esta posicionada a uma distância mínima de 0,30 m da borda frontal da laje.



FACHADA FRONTAL
ESC - 1/50



CORTE CD
ESC - 1/50

FONTE: Documentos Oficiais do Conjunto Habitacional

6.2 Levantamento de dados quantitativos

Cada residência é feita com fundação de baldrame com brocas escavadas de concreto armado. No contrapiso foi utilizado concreto 10 MPa com 3cm de espessura, enquanto as calçadas e rampas também utilizaram concreto 10 MPa com 6cm de espessura. O Quadro 1 mostra o quantitativo de concreto utilizado na obra.

Quadro 1 – Quantitativo de concreto utilizado no Conjunto Habitacional Jardim das Esmeraldas

Planilha de quantitativo de concreto do conjunto habitacional Jardim das Esmeraldas em Três Pontas - MG			
	ÁREAS(m ²)	ESPESSURAS(m)	VOLUMES(m ³)
CONTRA PISOS	21621,14	0,03	648,62
CALÇADAS E RAMPAS	15794,35	0,06	947,66
TOTAL			1596,28

FONTE: Projeto do Conjunto Habitacional

Para chegar ao quantitativo de material reciclado, o trabalho utilizou como referência o traço apresentado por Monica Leite (2001) em sua tese de doutorado, a qual fez experimentos com 15 traços diferentes com concreto reciclado, todos atingindo a resistência mínima de 10 MPa. A autora também considerou outras propriedades do concreto em seu experimento, como massa específica, trabalhabilidade, resistência à tração e módulo de deformação.

Em seu experimento, Leite (2001) utilizou as relações água/cimento 0,40; 0,60 e 0,80; e seus traços dividiram-se, de forma geral, em I – referência; II – 50% AMR/0%AGR; III – 0%AMR/50%AGR; IV – 50%AMR/50%AGR; e V – 100%AMR/100%AGR. A tabela com os traços encontra-se no referencial teórico (Tabela 3).

Como o intuito é substituir ao máximo o agregado natural pelo reciclado, atingindo a resistência mínima de 10 MPa, os experimentos-referência poderiam ser 5, 10 ou 15 da Tabela 3. Destes, foi escolhido o último, visto que consumia menos cimento e atingia a resistência mínima necessária.

Os traços-referência podem ser visto na Tabela 4, onde a=areia, p=pedra e m=somatório dos agregados.

Tabela 4 – Traços em massa utilizados na produção do concreto referência e consumo de cimento por m³ de Leite (2001)

Relação a/c	Teor de argamassa (%)	m	a	P	Teor de água - h (%)	Consumo de cimento/m ³
0,40	49	4,37	1,63	2,74	7,45	448,8
0,45	49	5,02	1,95	3,07	7,48	399,0
0,60	49	6,97	2,91	4,06	7,53	299,5
0,75	49	8,92	3,86	5,06	7,56	239,4
0,80	49	9,57	4,18	5,39	7,57	224,5

FONTE: Leite (2001, p.164).

Como a escolha do traço reciclado da Tabela 3 pressupunha uma relação água/cimento de 0,80, utilizou-se como referência a última relação da Tabela 4, onde o traço é 1: 4,18: 5,39: 0,80.

A partir desta referência, definiu-se o traço do concreto reciclado. A quantidade de cimento está explícita na Tabela 3 – 202 kg. Segundo Leite (2001) todos os experimentos tiveram a dosagem de 2,5% da massa de cimento de aditivos incorporados ao concreto. Dessa forma tem-se, para um concreto com agregado reciclado de resistência de 10,7 MPa o seguinte quantitativo:

- 202 kg de cimento
- 844,36 kg de areia reciclada
- 1.088,78 kg de brita reciclada
- 161,6 litros de água (262,6) com fator a/c 1,3
- 5,05 litros de aditivos

6.3 Comparativo de custos

Para chegar aos custos do projeto, foram elaboradas planilhas baseadas nas diretrizes das Tabelas de Composição de Preço para Orçamentos (TCPO). Primeiramente, foram elaborados os custos de mão de obra.

Como citado nos valores da convenção do Sindicato Intermunicipal das Indústrias da Construção Civil da região dos Lagos sul mineiros - Sinduscon-Lagos – (2015), os oficiais possuem um piso salarial de R\$ 1.572,50 por mês ou R\$ 7,15 por hora; enquanto os serventes e ajudantes possuem um piso de R\$ 942,80 por mês ou R\$ 4,29 por hora. Aliados aos salários estão os encargos sociais e outras despesas trabalhistas que são demonstrados nos Quadros 2, 3 e 4.

Quadro 2 – Encargos sociais sobre a mão de obra

CODIGO E DESCRIÇÃO	COM DESONERAÇÃO		SEM DESONERAÇÃO	
	HORISTA	MENSALISTA	HORISTA	MENSALISTA
	%	%	%	%
GRUPO A	18,00	18,00	38,00	38,00
A1 - Previdência Social - INSS	0,00	0,00	20,00	20,00
A2 - SESI	1,50	1,50	1,50	1,50
A3 - SENAI	1,00	1,00	1,00	1,00
A4 - INCRA	0,20	0,20	0,20	0,20
A5 - SEBRAE	0,60	0,60	0,60	0,60
A6 - Salário Educação	2,50	2,50	2,50	2,50
A7 - Seguro contra acidente trabalho	3,00	3,00	3,00	3,00
A8 - FGTS	8,00	8,00	8,00	8,00
A9 - SECONCI	1,20	1,20	1,20	1,20
GRUPO B	35,52	9,73	35,52	9,73
B1 - Repouso Semanal Remunerado	17,79	0,00	17,79	0,00
B2 - Feriados	3,69	0,00	3,69	0,00
B3 - Auxílio - Enfermidade	0,92	0,69	0,92	0,69
B4 - 13.º Salário	11,01	8,33	11,01	8,33
B5 - Licença Paternidade	0,08	0,06	0,08	0,06
B6 - Faltas Justificadas	0,73	0,56	0,73	0,56
B7 - Dias de Chuvas	1,18	0,00	1,18	0,00
B8 - Auxílio Acidente de Trabalho	0,12	0,09	0,12	0,09
GRUPO C	15,27	11,57	15,27	11,57
C1 - Aviso Prévio Indenizado	7,78	5,89	7,78	5,89
C2 - Aviso Prévio Trabalhado	0,18	0,14	0,18	0,14
C3 - Férias Indenizadas	1,75	1,32	1,75	1,32
C4 - Depósito Recisão Sem Justa Calsa	4,91	3,72	4,91	3,72
C5 - Indenização Adcional	0,65	0,50	0,65	0,50
GRUPO D	9,33	3,98	19,02	7,87
D1 - Reincidência de Grupo A sobre Grupo B	8,68	3,48	18,33	7,35
D2 - Reincidência de Grupo A sobre Aviso Prévio Trabalhado e Reincidência do FGTS sobre Aviso Prévio Indenizado	0,65	0,50	0,69	0,52
TOTAL	78,12	43,28	107,81	67,17

FONTE: SINAPI (2015)

Quadro 3 – Preço da hora do auxiliar

FUNÇÃO : AJUDANTE - hora normal	VALOR R\$	H por mês
a) Salário mensal	942,80	220
b) Encargos sociais	1016,43	
TOTAL GERAL DOS CUSTOS	1959,23	
CÁLCULO DO CUSTO DO HOMEM HORA		
Custo homem hora sem BDI (a+b) / n° horas trabalhadas	8,91	

FONTE: Elaboração própria

Quadro 4 – Preço da hora do oficial

FUNÇÃO : OFICIAL - hora normal	VALOR R\$	H por mês
a) Salário mensal	1572,50	220
b) Encargos sociais	1695,31	
TOTAL GERAL DOS CUSTOS	3267,81	
CÁLCULO DO CUSTO DO HOMEM HORA		
Custo homem hora sem BDI (a+b) / n° horas trabalhadas	14,85	

FONTE: Elaboração própria

A partir dos Quadros 2, 3 e 4 e os pisos disponibilizados pela Sinduscon, foram estabelecidos o custo/hora do auxiliar em R\$ 8,91 e o custo hora do oficial em R\$ 14,85. Com o custo/hora definidos, foram elaborados os Quadros 5 e 6 com o custo final do m³ do concreto convencional e do concreto reciclado, respectivamente. Os valores dos materiais dos Quadros 4 e 5 foram cotados com fornecedores, conforme será explicitado no estudo de caso.

Quadro 5 – Custo do concreto tradicional por m³

Unidade	m ³	TCPO 13°: 03320.8.1.3				
ITEM	TCPO 13°	DISCRIMINAÇÃO	UN.	QTD.	VALOR UNIT.	VALOR TOTAL
1		Mão-de-obra				
1.1	01270.0.45.1	Ajudante	h	6,000	8,91	53,43
1.2		Oficial	h		14,85	-
		Subtotal 1				53,43
2.		Materiais				
2.1	02060.3.2.2	Areia lavada tipo média	m ³	0,677	44,16	29,90

2.2	02060.3.3.1	Pedra britada 1	m ³	0,263	80,00	21,04
2.3	02060.3.3.2	Pedra britada 2	m ³	0,615	80,00	49,20
2.4	02065.3.5.1	Cimento Portland CP II-E-32 (resistência: 32mpa)	kg	220,00	0,39	85,80
2.5	07110.3.1.1	Aditivo hidrofugo	L	2,20	3,62	7,96
		Subtotal 2				193,90
3.		Ferramentas/equipamentos				
3.1	** 22300.9.2.5	Betoneira, elétrica, potência 2 HP (1,5 kW), capacidade 400l-vida útil 10.000h	h	0,306	0,81	0,25
		Subtotal 3				0,25
		SUBTOTAL GERAL				247,58
		CUSTO UNITÁRIO				247,58

FONTE: Adaptado TCPO (2013)

Quadro 6 – Custo do concreto reciclado por m³

TCPO 13º	DISCRIMINAÇÃO	UN.	QTD.	VALOR UNIT.	VALOR TOTAL
	Mão-de-obra				
01270.0.45.1	Ajudante	h	6,000	8,91	53,43
	Oficial	h		14,85	-
	Subtotal 1				53,43
	Materiais				
	Agregado miúdo reciclado	Tf	0,844	25,58	21,60
	Agregado graudo recclado	Tf	1,088	25,58	27,63
	Cimento Portland CP II-E-32 (resistência: 32mpa)	kg	202,00	0,39	78,78
	Aditivo hidrofugo	L	5,05	3,62	18,28
	Subtotal 2				146,29
	Ferramentas/equipamentos				
** 22300.9.2.5	Betoneira, elétrica, potência 2 HP (1,5 kW), capacidade 400l-vida útil 10.000h	h	0,306	0,81	0,25
	Subtotal 3				0,25
	SUBTOTAL GERAL				199,97
	CUSTO UNITÁRIO				199,97

FONTE: Adaptado TCPO (2013)

Somando o custo por hora dos auxiliares e oficiais aos custos do m³ de concreto, foram elaborados os Quadros 7, 8 e 9 que abordam os custos da aplicação do concreto convencional, do concreto reciclado e do concreto usinado, respectivamente.

Quadro 7 – Custo de aplicação do concreto convencional

Unid: m ²		TCPO 13º: 02710.8.6				
ITEM	TCPO 13º	DISCRIMINAÇÃO	UN.	QUANT.	VALOR UNIT.	VALOR TOTAL
1		Mão-de-obra				
1.1	01270.0.4.5.1	Ajudante	h	0,800	8,91	7,12
1.2	01270.0.4.0.1	Oficial	h	0,400	14,85	5,94
		Subtotal 1				13,07
2.		Materiais				
2.1	03320.8.1.2	Concreto não-estrutural preparo com betoneira	m ³	0,050	247,58	12,38
		Subtotal 2				12,38
						-
		SUBTOTAL GERAL				25,45
		CUSTO UNITÁRIO				25,45

FONTE: Adaptado TCPO (2013)

Quadro 8 – Custo da aplicação do concreto reciclado

Unid: m ²		TCPO 13º: 02710.8.6				
ITEM	TCPO 13º	DISCRIMINAÇÃO	UN.	QUANT.	VALOR UNIT.	VALOR TOTAL
1		Mão-de-obra				
1.1	01270.0.4.5.1	Ajudante	h	0,800	8,91	7,12
1.2	01270.0.4.0.1	Oficial	h	0,400	14,85	5,94
		Subtotal 1				13,07
2.		Materiais				
2.1	03320.8.1.2	Concreto não-estrutural preparo com betoneira	m ³	0,050	199,97	10,00
		Subtotal 2				10,00
		SUBTOTAL GERAL				23,06
		CUSTO UNITÁRIO				23,06

FONTE: Adaptado TCPO (2013)

Quadro 9 – Custo da aplicação do concreto usinado

Unid: m ²		TCPO 13º: 02710.8.6				
ITEM	TCPO 13º	DISCRIMINAÇÃO	UN.	QUANT.	VALOR UNIT.	VALOR TOTAL
1		Mão-de-obra				
1.1	01270.0.4.5.1	Ajudante	h	0,800	8,91	7,12
1.2	01270.0.4.0.1	Oficial	h	0,400	14,85	5,94
		Subtotal 1				13,07
2.		Materiais				
2.1	03320.8.1.2	Concreto não-estrutural preparo com betoneira	m ³	0,050	230,00	11,50
		Subtotal 2				11,50
		SUBTOTAL GERAL				24,57
		CUSTO UNITÁRIO				24,57

FONTE: Adaptado TCPO (2013)

Por fim, com estas tabelas em mãos foram realizados os comparativos de custos para o estudo de caso.

Para montar uma planilha de custos comparando o concreto convencional, o reciclado e o usinado, foram pesquisados valores de materiais em 7 fornecedores nas cidades de Três Pontas e Belo Horizonte. Considerando o concreto reciclado como A, o concreto tradicional como B e o concreto usinado como C, foram elaboradas as Tabelas 6, 7 e 8 para apresentar e comparar seus custos.

Tabela 5 – Custo dos agregados convencionais

Item	Fornecedor 1	Fornecedor 2	Fornecedor 3
Areia (m ³)	R\$ 44,16	R\$ 44,16	R\$ 45,00
Brita (m ³)	R\$ 80,00	R\$ 80,00	R\$ 80,00
Cimento (Kg)	R\$ 0,40	R\$ 0,39	R\$ 0,40

FONTE: Elaboração própria

Tabela 6 – Custo dos agregados reciclados

Item	Fornecedor 4	Fornecedor 5	Fornecedor 6
Areia (m ³)	R\$ 29,50	R\$ 29,90	R\$ 25,58
Brita (m ³)	R\$ 29,50	R\$ 29,90	R\$ 25,58

FONTE: Elaboração própria

Tabela 7 – Comparativo de custos dos concretos

Item	Preço (m ³)
Concreto A	R\$ 199,97
Concreto B	R\$ 247,58
Concreto C (Fornecedor 7)	R\$ 230,00

FONTE: Elaboração própria

O preço dos concretos A e B demonstrados na Tabela 8 são resultados dos levantamentos de custos do concreto, abordados nos Quadros 4 e 5 expostos na metodologia. O preço do concreto C foi cotado em uma usina localizada no município de Três Pontas.

Comparando-se os custos entre o concreto reciclado e os concretos convencional e usinado, pode-se notar que o concreto reciclado se mostrou mais viável economicamente. No entanto, os fornecedores dos agregados necessários a tais concretos encontram-se em Belo Horizonte. Por esse motivo, deve-se somar ao preço do m³ o valor do frete.

O transporte de cada tonelada de material custa R\$ 40,00. Foi encontrada apenas 1 transportadora em Belo Horizonte que faz esse tipo de serviço. Conforme exposto na Tabela, a obra utilizaria 1.596,28 m³ de concreto. Para cada m³, o traço exposto por Leite mostra uma utilização de 0,844 tonelada de areia e 1,088 tonelada de brita. Dessa forma, o frete para cada m³ seria de R\$ 33,76 (areia) e R\$ 43,52 (brita), somando um total de R\$ 77,28, o que inviabilizaria a utilização do concreto reciclado.

6.4 Análise dos resultados

A partir dos dados apresentados, pôde-se constatar que o concreto convencional é mais viável financeiramente em Três Pontas, por conta dos custos de transporte do material de construção das usinas de Belo Horizonte para Três Pontas.

Caso houvesse uma usina na cidade ou proximidades e o frete não interferisse, o concreto reciclado poderia representar uma economia de R\$ 165.081,00 se comparado com o convencional ou de R\$ 104.123,94 se comparado com o usinado. O Quadro 10 mostra a diferença de custos entre os concretos na obra.

Quadro 10 – Custo total de cada concreto na obra

ITEM	DISCRIMINAÇÃO	UNID	QUANTID	PR. UNIT.	PR. TOTAL
1	CONCRETO CONVENCIONAL COM ADTIVO PLATIFICANTE				1.347.248,86
1.1	Concreto não estrutural, preparo com betoneira, com aditivo plastificante	m ³	1.596,28	247,58	395.209,87
1.2	Custo de mão de obra de execução	m ²	37.415,49	25,45	952.038,98
2	CONCRETO RECICLADO COM ADTIVO PLASTIFICANTE				1.182.167,86
2.1	Concreto não estrutural, preparo com betoneira, com aditivo plastificante	m ³	1.596,28	199,97	319.204,29
2.2	Custo de mão de obra de execução	m ²	37.415,49	23,06	862.963,57
3	CONCRETO DOSADO EM CENTRAL CONVENCIONAL (CONCRETEIRA)				1.286.291,80
3.1	Custo da produção do concreto	m ³	1.596,28	230,00	367.144,40
3.2	Custo de mão de obra de execução	m ²	37.415,49	24,57	919.147,40
4	CONCRETO RECICLADO COM FRETE				1.457.004,74
4.1	Concreto não estrutural, preparo com betoneira, com aditivo plastificante	m ³	1.596,28	279,24	445.743,00
4.2	Custo de mão de obra de execução	m ²	37.415,49	27,03	1.011.261,74

FONTE: Elaboração própria

Por conta da inexistência da reciclagem nas proximidades, o concreto reciclado não possui vantagem. Com o transporte fazendo com que seu preço fique maior, o prejuízo por sua utilização seria de R\$ 109.755,88, se comparado com o concreto tradicional ou de R\$ 170.712,94 se comparado ao concreto usinado.

A partir do estudo de caso, pôde-se atestar que o concreto reciclado em si é viável para fins não estruturais, seja pela resistência, seja pela economia financeira que ele pode proporcionar. No entanto, essa viabilidade depende de outros fatores como a existência de usina próxima (visto que o frete pode inviabilizar sua utilização) bem como a confiabilidade dos agregados (visto que, se o material não for separado rigorosamente, pode haver contaminação). Neste estudo de caso especificamente, o frete inviabilizou financeiramente a utilização desta alternativa. O resultado, no entanto, poderia ser diferente se o conjunto habitacional fosse construído em Belo Horizonte, por exemplo, que possui usinas de reciclagem de resíduos de construção, reforma e demolição.

7 CONCLUSÃO

O estudo bibliográfico apontou que o concreto reciclado atinge a resistência necessária para fins não estruturais. Os autores pesquisados concluíram que é possível utilizar agregado reciclado no concreto, desde que seja conveniente dosado para que não afete a durabilidade. Para que a troca seja feita, no entanto, é imprescindível que se dê importância na escolha do agregado – se será graúdo, miúdo, ou ambos – bem como ao seu tratamento para que se elimine a possibilidade de contaminação. As propriedades do material devem ser conhecidas para que não se limite sua utilização, já que o agregado miúdo afeta positivamente a resistência, enquanto o graúdo afeta negativamente, por exemplo.

O estudo de caso, por sua vez, apontou uma inviabilidade financeira de se utilizar este tipo de concreto em Três Pontas: o concreto em si, é mais barato que o tradicional e poderia apresentar uma redução de custo significativa. O grande problema é a inexistência de usina de reciclagem próxima e o frete deixou o concreto reciclado mais caro que o concreto tradicional.

Infelizmente há uma dificuldade muito grande em se implantar os métodos de reutilização de resíduos sólidos de construção civil em nossa região devido à cultura da população, por falta de estudos relacionados ao tema e também por não ter uma usina de reciclagem, tendo em vista que o custo de implantação de uma usina de reciclagem é muito alto.

A reciclagem dos resíduos ainda é uma alternativa ambiental, mas a utilização como substituto de agregados ainda precisa de melhores normalizações, que visem a separação do material de forma qualitativa desde o momento da coleta. Essa alternativa, no entanto, pode levar ao consumo de outros recursos naturais escassos, como a água por exemplo. Caso os agregados reciclados não se mostrem suficientes, a construção civil terá de procurar outros substitutos, visto que o uso de apenas recursos naturais está cada vez mais inviabilizado pela escassez.

Caso houvesse uma usina próxima e a viabilidade financeira fosse, de fato, comprovada, o uso da reciclagem poderia trazer benefícios tanto para as empresas construtoras, que terão uma redução nos custos, quanto para as cidades, que reduzirão despesas com retirada de disposição irregular de entulho e outros prejuízos associados a esta disposição.

REFERÊNCIAS

BATISTA, Cristiano Gonçalves. **Influência na resistência à compressão de concretos com agregados reciclados de concreto em substituição ao agregado natural**. 2009. Disponível em: <http://www.bib.unesc.net/biblioteca/sumario/000040/000040E8.pdf>.

CABRAL, Antonio Eduardo Bezerra; MOREIRA, Kelvya Maria de Vasconcelos. **Manual sobre os resíduos sólidos da construção civil**. 2011. Disponível em: <http://www.sindusconce.org/ce/downloads/pqvc/Manual-de-Gestao-de-Residuos-Solidos.pdf>.

CAIXA ECONOMICA FEDERAL. **Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI)**. 2015. Disponível: <http://caixa.gov.br/poder-publico/sinapi/Paginas/default.aspx>

CAPELLO, Giuliana. **Entulho vira matéria-prima**. Publicado pela revista Técnica, edição 112, julho de 2006.

CONAMA, Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº307, de 5 de julho de 2002**. 2015. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/>

CORCUERA, Daniela. **Sustentabilidade na construção civil**. 2000. Disponível em: http://www.casaconsciente.com.br/pdf/mestrado_daniela_corcuera.pdf

CORSINI, Rodnei. **Agregados reciclados**. Publicado pela revista Técnica, edição 123, outubro de 2011.

DALPINO, Carlos Eduardo Ruiz. **Utilização de resíduos da construção civil para produção de concreto**. 2008. Disponível em: <http://engenharia.anhembri.br/tcc-08/civil-09.pdf>.

DIAS, Ellen Cristina Moreira Dias. **Gerenciamento de resíduos na construção civil**. 2007. Disponível em: <http://engenharia.anhembri.br/tcc-07/civil-16.pdf>.

FONSECA, Adriana Pinheiro. **Estudo comparativo de concreto com agregado graúdo reciclado de telha de cerâmica e agregado graúdo natural**. 2006. Disponível em: http://www.btdt.ufu.br/tde_arquivos/10/TDE-2007-01-24T142654Z-447/Publico/APFonsecaDISSPRT.pdf.

KARPINSK, Luisete A.; et al. **Gestão diferenciada de resíduos da construção civil: uma abordagem ambiental**. Porto Alegre: Edipucrs, 2009.

LEAL, Ubiratan. **Sobras que valem uma obra**. Publicado pela revista Técnica, edição 55, outubro de 2001.

LEITE, Mônica Batista. **Avaliação das propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição**. 2001. Disponível em: http://www.lume.ufrgs.br/bitstream_id/45864/000292768.pdf.

LIMA, Franciana Pereira. **Reciclagem de resíduos sólidos de construção e demolição no município de Goiânia – Benefícios ambientais.** 2012. Disponível em: <http://www.ucg.br/ucg/prope/cpgss/ArquivosUpload/36/file/RECICLAGEM%20DE%20RES%20C3%84DDUOS%20S%20C3%93LIDOS%20DA%20CONSTRU%20C3%87%20C3%83O%20E%20DEMOLI%20C3%87%20C3%83O%20NO%20MUNICIPIO%20DE%20GOI%20C3%82NIA%20-%20BENEFICIOS%20AMBIENTAIS.pdf>

PIEREZAN, Jerônimo. **Reaproveitamento do entulho da Construção Civil.** 2012. Disponível em: <http://www.tapera.net/acit/eventos/2012/reaproveitamento.pdf>

PINI. **Tabelas de composições de preços para orçamentos (TCPO).** Publicado pela editora Pini em 2009. Disponível em: <ftp://ip20017719.eng.ufjf.br/Public/Documentos/PINI-TCPO13/TCPO%2013.pdf>

PORTO, Maria Edelma Henrique de Carvalho; SILVA, Simone Vasconcelos. **Gestão do projeto de reaproveitamento dos entulhos de concreto gerados pela construção civil.** 2010. Disponível em: http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2010_TN_STP_120_783_15856.pdf.

SANTANA, Diego da Silva; et al. **Avaliação das perdas materiais sob a ótica da lean construction no comércio de materiais de construção da cidade de Cruz das Almas/BA e região.** 2011. Disponível em: http://www.inicepg.univap.br/cd/INIC_2011/anais/arquivos/RE_0218_0232_01.pdf.

SILVA, Alex Fabiane Fares da. **Gerenciamento de resíduos da construção civil de acordo com a resolução CONAMA nº 307/02 – estudo de caso para um conjunto de obras de pequeno porte.** 2007. Disponível em: <http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/handle/1843/FRPC-78WFYS>.

SILVA, Luiz Ricardo Amaro. **Utilização do entulho como agregado para produção de concreto reciclado.** 2004. Disponível em: http://www.poscivil.uff.br/sites/default/files/dissertacao_tese/luizricardoamaro_0.pdf

SILVA, Mayssa Alves da Silva; SANTOS, Vito Assis Alencar dos. **Reciclagem e reaproveitamento de resíduos sólidos da construção civil em São Luís – MA: um processo sustentável.** 2014. Disponível em: <http://www.undb.edu.br/ceds/revistadoceds/>

SINDUSCON-LAGOS. Sindicato intermunicipal das indústrias da construção civil da região dos lagos sul mineiros. **Convenção coletiva de trabalho 2015-16.** 2015. Disponível em: sindusconlagos.com.br/conv201516Varginha.pdf.

STOLZ, Carina Mariane. **Viabilidade econômica de usinas de reciclagem de RCD: um estudo de caso para Ijuí/RS.** 2008. Disponível em: <http://www.projetos.unijui.edu.br/petegc/wp-content/uploads/2010/03/TCC-Carina-Mariane-Stolz.pdf>.

TENÓRIO, Jonathas Judá Lima. **Avaliação de propriedades do concreto produzido com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição visando aplicações estruturais.** 2007. Disponível em:

http://www.ctec.ufal.br/posgraduacao/ppgec/dissertacoes_arquivos/Dissertacoes/Jonathas%20Juda%20Lima%20Tenorio.pdf.

TONUS, Cristian Allan; MINOZZI, Patrícia Ioná. **Utilização de agregados reciclados de alvenaria na produção de concreto para contrapiso.** 2013. Disponível em: http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/849/1/PB_COECI_2012_2_03.pdf.

VIEIRA, Geilma Lima; MOLIN, Denise Carpena Coultinho Dal; LIMA, F. B. Viabilidade técnica da utilização de concretos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição. 2004. Disponível em: <http://www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/viewFile/3575/1979>.

WERLE, Ana Paula. **Determinação de propriedades de concretos com agregados reciclados de concreto, com ênfase na carbonatação.** 2010. Disponível em: http://www.cimentoitambe.com.br/wp-content/uploads/2012/06/Diss_Unisinos_Ana-Paula-Werle-2010_Agregado-reciclado-concreto-carbonata%C3%A7%C3%A3o-1.pdf