

III-047 - ESTUDO PARA APLICAÇÃO DE MATERIAIS RECICLADOS COMO SUBSTITUTIVO DO AGREGADO NATURAL PARA PRODUÇÃO DE ARGAMASSA DE REVESTIMENTO. - ESTUDO DE CASO: METROFOR-CE.

Francisco Thiago Rodrigues Almeida⁽¹⁾

Engenheiro Ambiental e Sanitarista pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE).

Francisco Humberto de Carvalho Júnior⁽²⁾

Engenheiro Civil pela Universidade de Fortaleza (UNIFOR). Mestre em Saneamento Ambiental pela Universidade Federal do Ceará (UFC). Doutorando em Resíduos Sólidos pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE).

Endereço⁽¹⁾: Rua José Cândido, nº 237 – Bairro Monte Castelo – Fortaleza – Ceará – CEP: 60325-490 – Brasil – Tel: +55(85)3243-7295 – e-mail: Thiago.ambientaleng@gmail.com.

RESUMO

A construção civil é um segmento da sociedade em franco desenvolvimento, contribuindo efetivamente para o crescimento da economia. Entretanto, este segmento gera uma elevada quantidade de resíduos sólidos, que provoca diversos impactos ambientais e a saúde pública caso não sejam gerenciados de forma adequada. A reciclagem dos resíduos da construção e demolição (RCD) tem sido uma solução adotada no gerenciamento e aproveitamento desses materiais, principalmente através da produção de agregados reciclados. Este trabalho analisa a viabilidade técnica na utilização de argamassa com substituição parcial e total do agregado convencional pelo agregado reciclado para a proteção mecânica do túnel subterrâneo da Obra do METROFOR. Para tanto, fez-se a caracterização dos agregados naturais e reciclados seguindo as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Adotou-se o traço 1:5 na produção das argamassas com substituição do agregado natural pelo agregado reciclado de 0%, 50% e 100%. As argamassas foram ensaiadas quanto ao desempenho mecânico à compressão durante 7, 14 e 28 dias. Diante dos resultados obtidos para esta pesquisa, pode-se verificar que o RCD tem grande potencialidade de utilização para produção de argamassas, havendo apenas necessidade da avaliação de outras propriedades físicas e mecânicas da argamassa para reforçar o potencial desse material.

PALAVRAS-CHAVE: Argamassa, reciclagem, resíduos sólidos, agregados reciclados.

INTRODUÇÃO

O consumo de recursos naturais e de energia aumenta proporcionalmente ao crescimento e ao desenvolvimento demográfico mundial. Por conta disso, muitos segmentos da sociedade repensam suas estratégias de produção com o intuito de reduzir os impactos ambientais causados pelas atividades antrópicas (LEITE, 2001).

A construção civil é um desses segmentos que devido ao forte e constante desenvolvimento e suas elevadas potencialidades consome uma elevada quantidade de recursos naturais, correspondendo entre 20 a 50% dos recursos naturais utilizados pela sociedade conforme Couto Neto (2007). Além disso, esse setor utiliza uma elevada quantidade de energia e produz uma quantidade significativa de resíduos sólidos (XAVIER, 2001).

A elevada geração de resíduos da construção e demolição é ocasionada pela baixa qualidade dos bens e serviços da construção civil e pela quantidade de perdas e desperdícios de materiais durante o processo construtivo. Segundo Couto Neto (2007), o RCD, em algumas cidades brasileiras, pode representar mais da metade dos resíduos sólidos urbanos.

Os impactos causados por esses resíduos oriundos da indústria da construção civil, em destaque aqueles gerados em canteiros de obras, têm causado problemas graves à gestão urbana, onde se pode destacar, dentre outros, o rápido esgotamento de áreas de disposição, a degradação da flora e fauna, e consequentemente prejuízos aos cofres públicos (ROCHA, 2006).

Como forma de desacelerar esse processo causado por este segmento tão importante para economia, a reciclagem é, sem dúvida, a melhor alternativa para reduzir os impactos que o ambiente pode sofrer com o consumo de matéria prima e a geração desordenada de resíduos. Além disso, essa é também a alternativa para as administrações públicas reduzirem seus custos com a limpeza pública, garantir o prolongamento da vida útil dos aterros e preservar o meio ambiente (XAVIER, 2001).

Algumas opções de reciclagem dos resíduos da construção e demolição já são bem difundidas; como a utilização em base e sub-base de pavimentos, produção de concretos magros sem fins estruturais, produção de blocos de concreto entre outros. Outra possibilidade é a aplicação na forma de argamassa, podendo ser utilizado em inúmeras etapas e partes físicas da construção (LAPA, 2011).

MATERIAIS E MÉTODOS

O projeto da Linha Sul do METROFOR prevê a realização de diversas atividades como movimentação de terra, concretagem, edificações, instalações de via férreas e impermeabilização. Este estudo focará no serviço de impermeabilização do trecho de túnel subterrâneo entre as Estações Subterrâneas José de Alencar e Chico da Silva.

O serviço de impermeabilização consiste na aplicação de alguns materiais, que permitam a proteção e impermeabilização das superfícies, como manta asfáltica SBS 4,0 mm, argamassa no traço de 1:5 (cimento: agregado) e papel Kraft betumado.

1. Materiais Utilizados na fabricação da Argamassa

1.1. Cimento Portland CP II-E-32 RS

Para realização do procedimento experimental, utilizou-se o cimento CP II-E-32 RS, adquirido no comércio de Fortaleza em sacos de 50 kg, e um dos mais consumidos em obras da região.

1.2. Água

A água utilizada para a produção das argamassas foi à água potável disponibilizada pela CAGECE (Companhia de Água e Esgoto do Ceará) na região metropolitana de Fortaleza.

1.3. Agregado Convencional

Na produção das argamassas, utilizou-se o agregado convencional disponível no canteiro de obras do Consórcio Construtor do trecho do túnel subterrâneo entre as Estações Subterrâneas José de Alencar e Chico da Silva. Vale ressaltar que esse agregado natural é utilizado atualmente na produção da argamassa que possui a finalidade de proteção mecânica no serviço de impermeabilização das superfícies do túnel.

Todo o agregado convencional utilizado nesta pesquisa foi coletado no mês de Fevereiro de 2012, em quatro sacos de rafia de 50 kg cada. Para os procedimentos experimentais, juntou-se, em apenas um saco de rafia de 50 kg, porções representativas dos quatro sacos de rafia iniciais. Em seguida, encaminhou-se esta amostra de agregado convencional para o Laboratório da Empresa BETON, onde os ensaios de granulometria e de determinação da massa específica, da massa unitária, do módulo de finura e do teor de material pulverulento foram realizados, obedecendo às normas técnicas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

A partir dos resultados do módulo de finura e da distribuição granulométrica, estabeleceu-se a zona granulométrica do agregado, conforme a Norma NBR 7211 (ABNT, 2009). A Tabela 1 apresenta a zona granulométrica de cada intervalo relacionado com o módulo de finura.

Tabela 1: Limites de distribuição Granulométrica do agregado miúdo.

| Peneira com abertura de malha | Porcentagem, em massa, retida acumulada | | | |
|----------------------------------|-----------------------------------------|------------|--------------------|-----------------|
| | Limites Inferiores | | Limites Superiores | |
| | Zona Utilizável | Zona Ótima | Zona Ótima | Zona Utilizável |
| 9,5 mm | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 6,3 mm | 0 | 0 | 0 | 7 |
| 4,75 mm | 0 | 0 | 5 | 10 |
| 2,36 mm | 0 | 10 | 20 | 25 |
| 1,18 mm | 5 | 20 | 30 | 50 |
| 600 µm | 15 | 35 | 55 | 70 |
| 300 µm | 50 | 65 | 85 | 95 |
| 150 µm | 85 | 90 | 95 | 100 |

Nota 1: o módulo de finura da zona ótima varia de 2,20 a 2,90;

Nota 2: o módulo de finura da zona utilizável inferior varia de 1,55 a 2,20;

Nota 3: o módulo de finura da zona utilizável superior varia de 2,90 a 3,50;

1.4. Agregado Reciclado

Na produção da argamassa, utilizou-se o agregado reciclado comercializado por uma Usina de Reciclagem de Resíduos da Construção Civil em Fortaleza. Vale ressaltar que esse agregado reciclado coletado é o resultado do processo de reciclagem dos resíduos da construção e demolição de várias obras da Região Metropolitana de Fortaleza.

Todo o agregado convencional utilizado nesta pesquisa foi coletado no mês de Fevereiro de 2012, em quatro sacos de ráfia de 50 kg cada. Este agregado reciclado é obtido a partir da britagem e peneiramento no Britador tipo LT 106S da NORDBERG, que possui uma peneira de 50 mm.

Para os procedimentos experimentais, juntou-se, em apenas um saco de ráfia de 50 kg, porções representativas dos quatro sacos de ráfias iniciais. Em seguida, encaminhou-se esta amostra de agregado convencional para o Laboratório da Empresa BETON, onde os ensaios de granulometria e de determinação da massa específica, da massa unitária, do módulo de finura e do teor de material pulverulento foram realizados, obedecendo às normas da ABNT.

2. Produção da Argamassa

O traço adotado neste trabalho é 1:5 (cimento:agregado), que representa a mesma proporção estabelecida na especificação técnica da obra para de serviço de impermeabilização. Com objetivo de avaliar a produção de argamassa utilizada na proteção mecânica a partir do agregado reciclado, houve a produção de três tipos de argamassa com dosagens diferentes de agregado reciclado. A Tabela 2 apresenta os três tipos de argamassas produzidas.

Tabela 2: Definição das Argamassas.

| Argamassa | Traço | % Substituição do agregado natural por agregado reciclado |
|-----------|-------|-----------------------------------------------------------|
| A0 | 1:5 | 0% |
| A1 | 1:5 | 50% |
| A2 | 1:5 | 100% |

No mês de junho de 2012, levou-se o cimento, o agregado convencional e o agregado reciclado para o laboratório da Beton, onde se realizou a produção das argamassas e a preparação dos corpos de provas para o ensaio de resistência à compressão em três idades diferentes: 7, 14 e 28 dias.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

• Características Físicas do Agregado Natural e do Convencional

As distribuições granulométricas do agregado natural e do reciclado encontra-se na tabela 3, enquanto as demais características encontram-se na tabela 4.

Tabela 3: Distribuição Granulométrica do agregado natural e do reciclado.

| Peneiras (mm) | Agregado Convencional | | | Agregado Reciclado | | |
|---------------|-----------------------|----------|--------------------|--------------------|----------|--------------------|
| | Retida (g) | % Retida | % Retida Acumulada | Retida (g) | % Retida | % Retida Acumulada |
| 9,5 | 8,5 | 0,9 | 0,9 | 54 | 5,4 | 5,4 |
| 6,3 | 15 | 1,5 | 2,4 | 61 | 6,1 | 11,5 |
| 4,8 | 18,5 | 1,9 | 4,2 | 59,5 | 6,0 | 17,5 |
| 2,4 | 65,5 | 6,6 | 10,77 | 147 | 14,7 | 32,20 |
| 1,2 | 134,5 | 13,5 | 24,25 | 144 | 14,4 | 46,62 |
| 0,6 | 339 | 34,0 | 58,22 | 203 | 20,3 | 66,95 |
| 0,3 | 299,5 | 30,0 | 88,23 | 218 | 21,8 | 88,78 |
| 0,15 | 96,5 | 9,7 | 97,9 | 98 | 9,8 | 98,60 |
| < 0,15 | 21 | 2,1 | 100 | 14 | 1,4 | 100 |
| TOTAL | 998 | - | - | 998 | - | - |

Tabela 4: Módulo de Finura, Massa Específica, Massa Unitária e Material Pulverulento dos agregados natural e reciclado.

| Tipo de Agregado | Módulo de Finura | Massa Específica (Kg/dm ³) | Massa Unitária (kg/dm ³) | Material Pulverulento (%) |
|------------------|------------------|----------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------|
| Natural | 2,89 | 2,56 | 1,62 | 1,3 |
| Reciclado | 3,67 | 2,37 | 1,55 | 9,0 |

Observa-se, na tabela 3, que o percentual de material passante na peneira de malha # 4,8 mm, que representa a parcela miúda da amostra, é elevado tanto para o agregado natural como para o agregado reciclado, correspondendo respectivamente a 95,8% e a 82,5%. Este alto índice da parcela miúda é um aspecto positivo, pois, segundo Martins e Assunção (2010), os grãos mais grossos não devem ultrapassar os 5 mm na fabricação das argamassas.

De acordo com a NBR 7211 (ABNT, 2009), os valores obtidos de granulometria do agregado convencional e do reciclado são considerados bem graduados, o que, segundo Lapa (2011), favorece positivamente sua utilização em argamassas por promover uma melhor trabalhabilidade e uma pequena quantidade de vazios entre os grãos.

A Tabela 4 apresenta os resultados das características de massa específica, massa unitária e o teor de material pulverulento do agregado convencional e do agregado reciclado. Observa-se que a massa unitária do agregado reciclado (1,55 kg/dm³) é menor do que a do agregado natural (1,62 kg/dm³), o que, segundo Lima (1999), é coerente devido os resíduos de construção e demolição serem compostos de materiais porosos. Com relação à massa específica, o agregado reciclado apresentou também um valor (2,37 kg/dm³) menor do que a do agregado convencional (2,56 kg/dm³).

A partir dos dados de teor de material pulverulento da Tabela 4, infere-se que a areia apresenta poucos finos, enquanto o agregado reciclado apresenta uma quantidade de finos maior, o que, de acordo com Lapa (2011), pode interferir na quantidade de água necessária para obter a consistência adequada da argamassa.

A Figura 1 e 2 apresentam os gráficos com as curvas granulométricas do agregado convencional e do agregado reciclado, mostrando os limites ótimos e utilizáveis respectivamente, conforme a NBR 7211 (ABNT, 2009).

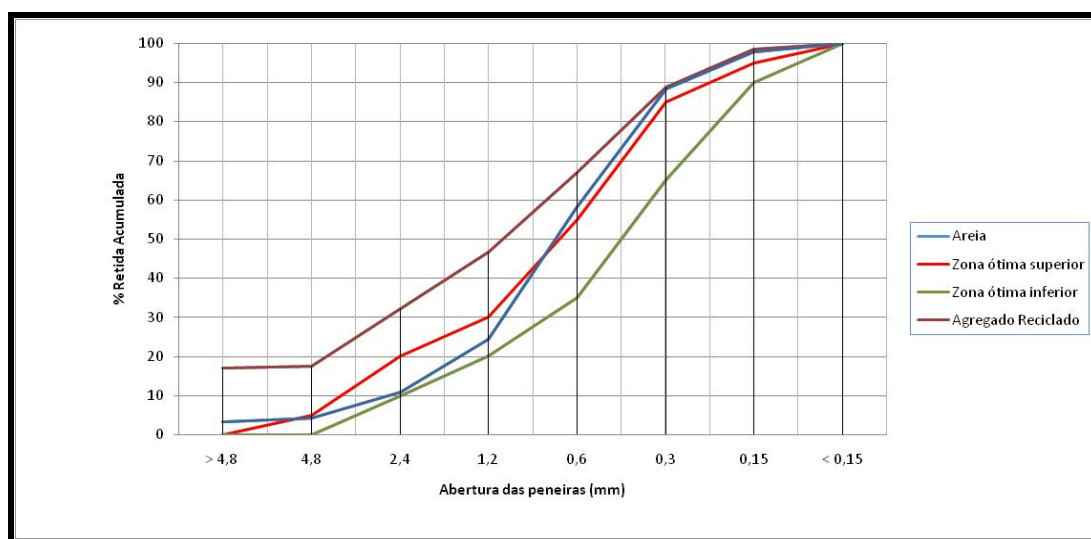


Figura 1: Curvas granulométricas do agregado natural e reciclado com limite ótimo inferior e superior definidos pela NBR 7211 (2009).

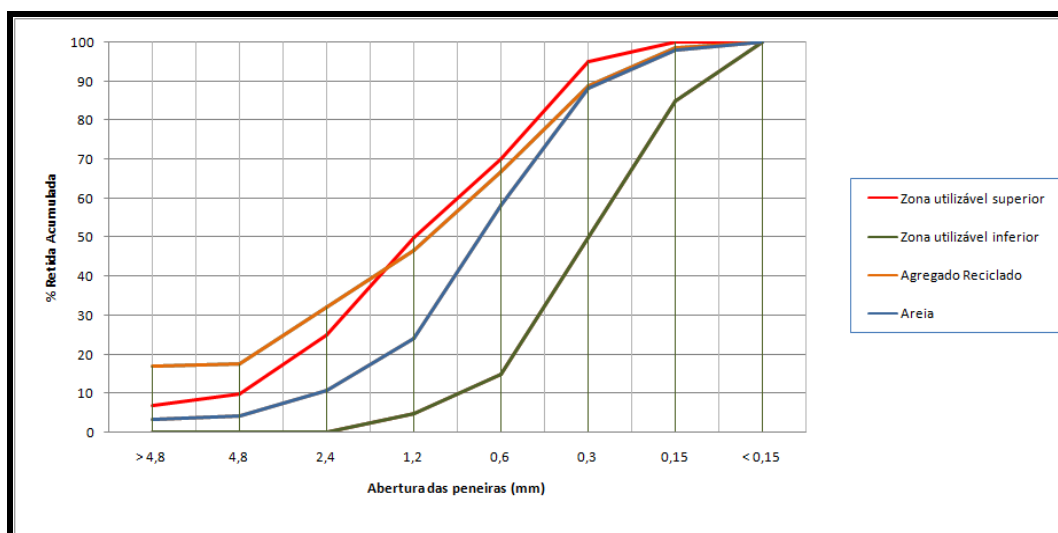


Figura 2: Curvas granulométricas do agregado natural e reciclado com limite utilizável inferior e superior definidos pela NBR 7211 (2009).

A partir de uma avaliação criteriosa das Figuras 1 e 2, observa-se que, como esperado, a distribuição granulométrica do agregado convencional está dentro do intervalo estabelecido pela NBR 7211 (ABNT, 2009) tanto da zona ótima como da zona utilizável, atestando assim a sua utilização na produção de argamassas.

Quanto à distribuição granulométrica do agregado reciclado, infere-se que a sua curva ultrapassou o limite ótimo superior, como previsto, devido ao elevado valor do módulo de finura. Todavia, a distribuição granulométrica do agregado reciclado acompanhou a curva do limite utilizável superior adotado pela NBR 7211 (ABNT, 2009), ficando também dentro do intervalo da zona utilizável.

• Característica Mecânica da Argamassa

A Figura 3 apresenta a média dos resultados obtidos, em cada data de ruptura, nos ensaios de resistência à compressão das três amostras de argamassa.

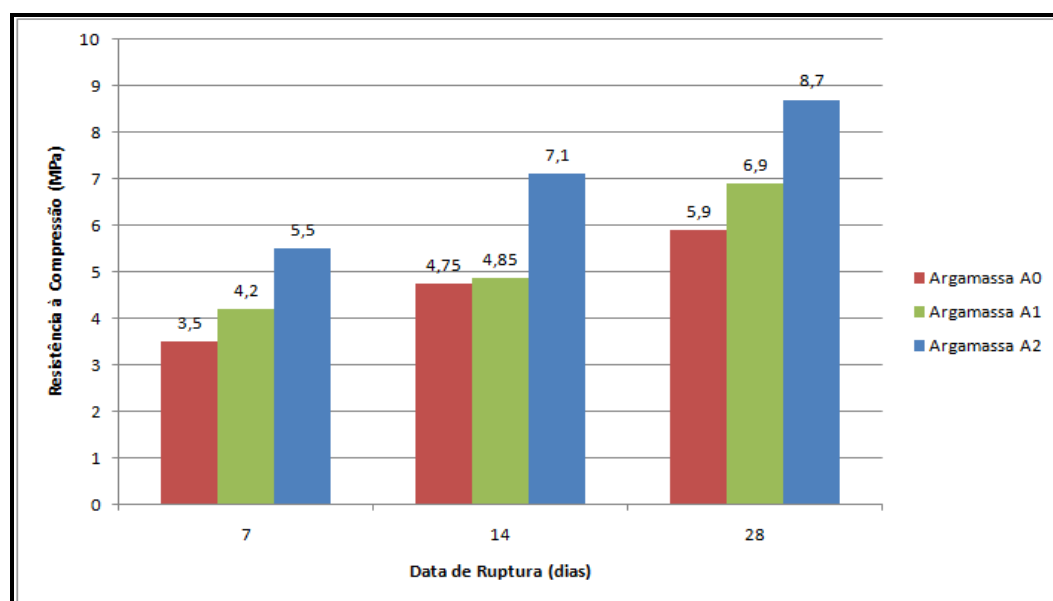


Figura 3: Média dos resultados obtidos, em cada data de ruptura, nos ensaios de resistência à compressão das três amostras de argamassa.

Observa-se claramente na Figura 3 que há, em todas as datas de rupturas, um crescimento da resistência à compressão à medida que aumenta a substituição do agregado convencional pelo agregado reciclado. Vale ressaltar que, aos 28 dias, a resistência à compressão da argamassa A2, em relação às argamassas A0 e A1, apresentou um acréscimo de 32% e 20,7% respectivamente.

Segundo Martins e Assunção (2010), a justificativa para o crescimento da resistência à compressão conforme aumenta o teor de agregado reciclado na mistura é o fato que a resistência mecânica da argamassa cresce com o aumento da quantidade de cimento, dessa forma, como os agregados reciclados são originados de materiais que já possuíam cimento na sua constituição, há um acréscimo natural de cimento na argamassa com agregado reciclado.

CONCLUSÕES

Em relação aos resultados dos ensaios de caracterização dos agregados, o agregado reciclado apresentou um maior teor de finos, e menores massas específica e unitária que a do agregado natural.

Ainda a respeito da caracterização dos agregados, a distribuição granulométrica do agregado natural ficou dentro da faixa ótima, enquanto a do agregado reciclado ficou no limite superior utilizável estabelecido por normas específicas, o que mostra a potencialidade de utilização do agregado reciclado na produção de argamassa.

Os resultados da resistência à compressão das argamassas A0, A1 e A2 mostram que existe um aumento da resistência à compressão à medida que cresce o nível de substituição do agregado natural pelo agregado reciclado. Este fato evidencia também o potencial de utilização do agregado reciclado na produção de argamassa.

Diante dos resultados obtidos para esta pesquisa, pode-se verificar que o RCD tem grande potencialidade de utilização para produção de argamassas, atendendo a diversas exigências estabelecidas pelas normas da ABNT.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **7211 – Agregados para concreto – especificação**. Rio de Janeiro, 2009.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7219 – Determinação do teor de materiais pulverulentos**. Rio de Janeiro, 1987.
3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248 – Agregados – Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 2003.
4. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 45 – Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios**. Rio de Janeiro, 2006.
5. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 46 – Agregados – Determinação do material fino que passa através da peneira 75 µm, por lavagem**. Rio de Janeiro, 2003.
6. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 52 – Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente**. Rio de Janeiro, 2003.
7. LAPA, José Silva. **Estudo da viabilidade técnica de utilização em argamassas do resíduo de construção oriundo do próprio canteiro de obra**. 2011. 133 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.
8. LIMA, José Antônio Ribeiro de. **Proposição de diretrizes para produção e normalização de resíduo da construção reciclado e de suas aplicações em argamassas e concretos e concreto**. 1999. 240 f. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1999.
9. MARTINS, João Gerra; ASSUNÇÃO, Joaquim Soares. **Materiais de Construção: Argamassas e Rebocos**. 3. ed. Porto: Universidade Fernando Pessoa, 2010. (Materiais).

10. LEITE, Mônica Batista. **Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos da construção e demolição.** 2001. 290 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.
11. XAVIER, Luciana Lopes. **Subsídios para tomada de decisão visando melhoria do gerenciamento do resíduo urbano em Florianópolis-SC: enfoque no resíduo da construção civil.** 2001. 177 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.
12. COUTO NETO, Alair Gonçalves. **Construção Civil Sustentável: avaliação da aplicação do modelo de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil do SINDUSCON-MG em um canteiro de obras - estudo de caso.** 2007. 103 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.
13. ROCHA, Eider Gomes de Azevedo. **Os Resíduos da Construção e Demolição: gerenciamento, quantificação e caracterização, um estudo de caso no Distrito Federal.** 2006. 174 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Brasília, Brasília, 2006.