

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO CEARÁ
PRÓ-REITORIA DE ENSINO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA E GESTÃO AMBIENTAL**

ADRIANA SAMPAIO LIMA

**CARACTERIZAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO
CIVIL (RCC) DA CIDADE DE FORTALEZA-CE**

**FORTALEZA – CEARÁ
2012**



ADRIANA SAMPAIO LIMA

**CARACTERIZAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO
CIVIL (RCC) DA CIDADE DE FORTALEZA-CE**

Dissertação submetida à Coordenação do Curso de Pós-Graduação em Tecnologia e Gestão Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará como requisito para obtenção do título de Mestre em Tecnologia e Gestão Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Eduardo Bezerra Cabral

FORTALEZA – CEARÁ

MAIO de 2012

Catlogação na fonte : Islânia Fernandes Araújo (CRB 3 – nº 917)

L732c Lima, Adriana Sampaio.
 Caracterização e classificação dos resíduos de construção civil (RCC) da cidade de Fortaleza-CE / Adriana Sampaio Lima. – 2012.
 87f.

 Dissertação (Mestrado em Tecnologia e Gestão Ambiental)
 Orientação: Prof. Dr. Antonio Eduardo Bezerra Cabral

 1. RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL (RCC) - CARACTERIZAÇÃO. 2. RESOLUÇÃO CONAMA 307. 3. RESÍDUOS SÓLIDOS - CLASSIFICAÇÃO. I. Título.

CDD 628.445

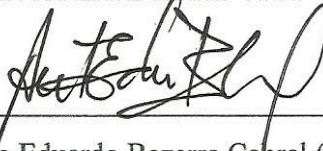
ADRIANA SAMPAIO LIMA

**CARACTERIZAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO
CIVIL (RCC) DA CIDADE DE FORTALEZA-CE**

Dissertação submetida à Coordenação do Curso de Pós-Graduação em Tecnologia e Gestão Ambiental do Instituto Federal do Ceará como requisito para a obtenção do título de Mestre em Tecnologia e Gestão Ambiental.

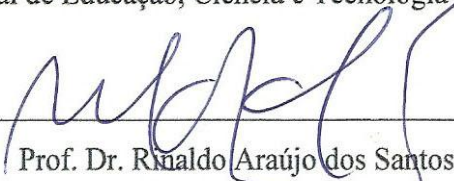
Aprovada em 14/05/2012

BANCA EXAMINADORA



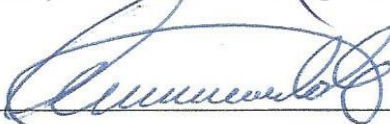
Prof. Dr. Antonio Eduardo Bezerra Cabral (Orientador)

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - IFCE



Prof. Dr. Rinaldo Araújo dos Santos

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - IFCE



Prof. Dr. Valdir Schalch

Universidade de São Paulo – USP



Prof. Dr. Tassio Francisco Lofti Matos

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - IFCE

*Dedico este trabalho aos meus
pais, Maria e Vicente e ao meu
namorado, Roberto.*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por me levantar todas as vezes que pensei em desistir. Sem Ele, tenho certeza que a dissertação não tinha passado de uma possibilidade.

À minha mãe Maria Mártires pela sua fé e pela dedicação e por ter cuidado de mim todas as vezes que precisei. Ao meu pai Raimundo Vicente por ter me apoiado inteiramente durante toda a caminhada e por ser minha inspiração de vida.

Ao Professor Dr. Antonio Eduardo Bezerra Cabral pela orientação e oportunidade de aprendizado.

Ao Professor Dr. Rinaldo Araújo por ter me cedido seu laboratório para análises químicas e por participar da banca examinadora.

Ao Professor Dr. Tássio Lofti, por ter me ajudado a dar o primeiro passo nas coletas e por ter aberto as portas do seu laboratório para caracterização dos resíduos. Ao seu aluno Samuel e ao funcionário Luis, por ter me ajudado na separação dos materiais.

A Keyle por ter me apoiado durante as coletas no TERRAPLENA e ao Gustavo por ter me ajudado na parte pesada da coleta.

Ao Sr. Walter, gerente da USINE e ao Sr. Alexandre Botelho, dono da USINE, por terem permitido a realização do trabalho nas dependências da USINE e aos funcionários por ter me ajudado na parte pesada da coleta.

Ao Laboratório do DNIT pela permissão para britagem do material e a Kelvya pela ajuda na hora da britagem. Ao Hildam e ao Nonato pela permissão e ajuda na hora da britagem do material no laboratório do NUTEC.

A todo o pessoal do LTQ, em especial a Alice Charmilene por ter sido meu braço direito nas análises químicas e pelos momentos de descontração.

Ao pessoal do LATAM por ter cedido o pHmetro e a Izabel por ter me ajudado nas análises de fenol.

Ao Roberto e à Carla Nobre pela ajuda nas coletas.

Ao mestrado de Tecnologia e Gestão Ambiental do Instituto Federal de Tecnologia e Ciência do Ceará (IFCE) pela oportunidade de crescimento e a Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP) pelo apoio financeiro.

*“O impossível é geralmente aquilo
que não foi tentado.”*

John Goodwin

RESUMO

A Indústria da Construção é um dos setores que mais crescem no mundo, sendo reconhecida como uma atividade importante para o desenvolvimento econômico e social. Como um paradoxo, é uma atividade de grande impacto ambiental, com elevado consumo de recursos naturais, sendo responsável por grande parte dos resíduos gerados atualmente. Estes resíduos, quando não gerenciados de forma adequada podem afetar o meio ambiente. Um importante mecanismo para auxiliar a gestão dos resíduos de construção civil (RCC) foi a criação da Resolução CONAMA N ° 307, que estabelece diretrizes e procedimentos para a gestão de resíduos de construção, além de classificar os resíduos para ter uma disposição de tratamento adequado, com o objetivo de reduzir os impactos ambientais e aplicar o uso da tecnologia para a reutilização e reciclagem de resíduos de construção. O RCC é composto de materiais com alto potencial de reciclagem, tais como concreto, areia e argamassa. Estes resíduos são considerados inertes de modo que são amplamente utilizados em aterramentos e incorporadas na produção de novos materiais, sem qualquer estudo anterior. Estudos em algumas cidades brasileiras mostram que estes resíduos contêm muitos contaminantes e não podem ser considerados inertes, de acordo com a NBR 10004, necessitando de tratamento antes de serem utilizados na reciclagem. Este trabalho visa analisar a composição gravimétrica, avaliar parâmetros químicos e classificar o RCC da cidade de Fortaleza de acordo com a Resolução CONAMA N ° 307 e NBR 10004. Para tanto, Amostras de RCC de Fortaleza foram coletadas em dois pontos diferentes, uma área de recuperação e uma usina de reciclagem, durante janeiro, abril, julho e setembro de 2011, resultando em quatro amostras. A coleta de cada amostra seguiu as recomendações da NBR 10007. Para a classificação da composição gravimétrica, o RCC foi separado em classes definidas de acordo com a Resolução CONAMA N ° 307, denominados: classe A (materiais que podem ser reciclados em agregados, como concreto, argamassa, areia e tijolo cerâmico), classe B (papel, plástico, gesso, madeira e vidro), classe C (materiais que ainda não possuem tecnologias para serem reciclados) e classe D (materiais perigosos como tinta e solvente). Foram preparados extratos lixiviados e solubilizados do classe A de acordo com a NBR 10005 e NBR 10006, respectivamente, para análise química. Os parâmetros avaliados foram: Al, As, Ba, Pb, Cd, Cu, Cr, Fe, Mn, Hg, Ag, Se, Na, Zn, Cl^- , F^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , CN^- e Fenol por espectrofotometria de UV-Vis e de absorção atômica. As amostras foram classificadas de acordo com a NBR 10004 como Classe I (perigosos), Classe II-A (não perigoso e não inerte) e Classe II-B (inertes). Os resultados mostram que o RCC de Fortaleza é composto por 93,4% do Classe A, 6,4% do Classe B, 0,02% do Classe C e 0,2% Classe D. O classe A é composto principalmente por areia e solo (24,65%) e argamassa (22%), que são materiais com alto potencial de reutilização ou reciclagem. Além disso, de acordo com a análise química, o RCC de Fortaleza mostrou uma alta variabilidade em todos os parâmetros analisados. Parâmetros como Cr, Pb e SO_4^{2-} apresentaram valores acima dos limites especificados pela NBR 10004, indicando que esse material deve ser classificado como Classe II-A (Não perigoso e não inerte).

Palavras-Chave: RCC, Caracterização física e química, Classificação, CONAMA 307, Fortaleza

ABSTRACT

The Construction Industry is one of the fastest growing sectors in the world, being recognized as an important activity for economic and social development. As a paradox, it is an activity of great environmental impact, with high consumption of natural resources, being responsible for a great part of wastes generated today. These wastes, if not properly managed can affect with a significantly way the environment. An important mechanism to assist the management of construction waste (CW) was the creation of CONAMA Resolution N° 307, which establishes guidelines and procedures for the management of construction waste, beyond classify the wastes to have an appropriate treatment and disposal, aiming to reduce environmental impacts and applying the use of technology for reuse and recycling of construction wastes. The CW consists of materials with high potential for recycling, such as sand, concrete and mortar. These wastes are considered inert so they are widely used in grounds and incorporated in the production of new materials without any previous study. Studies in some Brazilian cities show that these wastes have many contaminants and it can't be considered inert, according to Brazilian Standard NBR 10004, requiring treatment before using it in recycling. This work aims to analyze the gravimetric composition, evaluate chemical parameters and classify the CW of Fortaleza city according to CONAMA Resolution N° 307 and NBR 10004. Samples of Fortaleza CW were collected at two different points, a recovery area and a recycling plant, during January, April, July and September of 2011, resulting in four samples. The collection of each sample followed the recommendations of NBR 10007. For a gravimetric composition classification, the CW were separated in groups defined according to CONAMA Resolution N° 307, named group A (materials that can be recycled into aggregates, as concrete, mortar, sand and brick ceramic), group B (paper, plastic, gypsum, wood and glass), group C (materials that has not yet technology to be recycled) and group D (dangerous materials as ink and solvent). Leached and solubilized extracts of Group A materials were prepared according to NBR 10005 and NBR 10006, respectively, for chemical analysis. The parameters analyzed were Al, As, Ba, Cd, Pb, Cu, Cr, Fe, Mn, Hg, Ag, Se, Na, Zn, Cl^- , F^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , CN^- and phenol by UV spectrophotometry and atomic absorption. Samples were classified according to NBR 10004 as Class I (dangerous), Class II-A (not dangerous and not inert) and Class II-B (inert). Results show that the Fortaleza's CW is composed by 93,4% Group A, 6,4% Group B, 0,02% Group C and 0,2 % Group D. The Group A is composed primarily by sand and gravel (24,65%) and mortar (22%), that are materials with high potential for reuse or recycling. Moreover, according to chemical analysis, Fortaleza CW showed a high variability in all parameters. Content of Cr, Pb and SO_4^{2-} , showed above to the limits specified by NBR 10004, indicating that this material should be classified as Class II-A (not dangerous and not inert).

Keywords: CW, Chemical and physical characterization, Classification, CONAMA 307, Fortaleza.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Fluxograma para classificação de resíduos sólidos quanto aos riscos ao meio ambiente e a saúde pública.	21
Figura 3	Origem do RCC em algumas cidades brasileiras	23
Figura 3	Fluxograma da Gestão Integrada de RCC	29
Figura 4	Aterramento irregular de lagoa para construção de moradia em Santos-SP	30
Figura 5	Área aterrada irregularmente próxima a um córrego em Fortaleza	33
Figura 6	Deposição irregular de RCC em área de vegetação litorânea no Iguape	34
Figura 7	Deposição em área de vegetação próxima a um córrego em Fortaleza	35
Figura 8	Deposição em via pública em Fortaleza	35
Figura 9	Localização da unidade receptora de RCC Terraplina em Fortaleza-CE	41
Figura 10	Localização da unidade receptora de RCC USINE em Itaitinga-CE	42
Figura 11	Sequência de homogeneização e quarteamento da pilha de resíduos de construção e demolição	43
Figura 12	Disposição do material para composição gravimétrica	45
Figura 13	Britagem do resíduo Classe A	47
Figura 14	Sequência de homogeneização e quarteamento da amostra	48
Figura 15	Incubadora de agitação orbital contendo as amostras em agitação para preparação do extrato lixiviado.	49
Figura 16	Amostras em repouso para preparação do extrato solubilizado dos RCC de Fortaleza-CE	50
Figura 17	Composição Gravimétrica média do RCC da cidade de Fortaleza	58
Figura 18	Composição gravimétrica por Classes de acordo com a Resolução N° 307	59

LISTA DE QUADROS

Quadro 1	Período de amostragem dos RCC de Fortaleza	42
Quadro 2	Grupos definidos para composição gravimétrica	44
Quadro 3	Parâmetros analisados para as análises de periculosidade e solubilidade	50
Quadro 4	Métodos de Análises de acordo com APHA (2005)	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Percentual de perdas verificadas na construção de um edifício	24
Tabela 2 – Geração estimada de algumas cidades brasileiras e países no mundo	25
Tabela 3 – Composição Gravimétrica de RCC de algumas cidades brasileiras	27
Tabela 4 – Peso em quilogramas do RCC antes e após quarteamento	53
Tabela 5 – Composição Gravimétrica e Classificação dos RCC de Fortaleza	54
Tabela 6 – Análise estatística da composição gravimétrica do RCC de Fortaleza	58
Tabela 7 – pH das amostras de RCC de Fortaleza	60
Tabela 8 – Resultado da análise de periculosidade nas amostras de RCC de Fortaleza pelo extrato lixiviado	61
Tabela 9 – Resultado da análise de solubilidade nas amostras de RCC de Fortaleza	64

ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de normas técnicas
Ag	Prata
Al	Alumínio
As	Arsênio
Ba	Bário
Cd	Cádmio
Cl⁻	Cloreto
CN⁻	Cianeto
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
Cr	Cromo
Cu	Cobre
F⁻	Fluoreto
Fe	Ferro
Hg	Mercúrio
ICP	Espectrofotometria por plasma indutivamente acoplado
IFCE	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará
LATAM	Laboratório de Tecnologia Ambiental
LMCC	Laboratório de Materiais de Construção Civil
LTQ	Laboratório de Tecnologia Química
Mn	Manganês
Na	Sódio
NBR	Norma brasileira
NO₃⁻	Nitrato
NUTEC	Núcleo de Tecnologia Industrial do Ceará
Pb	Chumbo
RCC	Resíduos de construção civil
SCCA	Soil Contamination Countermeasures Act
Se	Selênio
SO₄²⁻	Sulfato
USINE	Usina de reciclagem do Nordeste
PRA	Peso do resíduo na amostra

PTA	Peso total da amostra representativa
PCG	Percentual de composição gravimétrica do RCC Classe A de Fortaleza (%)
Zn	Zinco

SUMÁRIO

RESUMO	vi
ABSTRACT	vii
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE QUADROS	ix
LISTA DE TABELAS	x
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	xi
1. INTRODUÇÃO	15
2. OBJETIVOS	18
2.1. Objetivo Geral	18
2.2. Objetivos Específicos	18
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
3.1. Definição e Classificação dos RCC	19
3.2. Origem e Geração de Resíduos de Construção	22
3.3. Composição do RCC	25
3.4. Gestão e Gerenciamento de Resíduos de Construção Civil	27
3.5. Legislação e Normas	31
3.6. Impactos Ambientais Causados pelo RCC	33
3.7. Reciclagem dos RCC	36
3.8. Impurezas e Contaminantes do RCC	38
4. METODOLOGIA	41
4.1. Coleta dos RCC	41
4.2. Caracterização Física do RCC de Fortaleza Segundo a Resolução N° 307	44
4.3. Classificação Química do Resíduo Classe A Segundo a NBR 10004	46
4.3.1. Preparação das Amostras para as Análises	46
4.3.2. Análises Químicas Realizadas	50
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	53
5.1. Amostragem do RCC	53
5.2. Composição Gravimétrica e Classificação Segundo Resolução N° 307	53
5.3. Classificação Química Segundo a NBR 10004 (ABNT, 2004)	59
5.3.1. Análise de Reatividade e Corrosividade	60
5.3.2. Análise de Periculosidade	61

5.3.3. Análise de Solubilidade	63
6. CONCLUSÕES	68
7. SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS	69
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	70
ANEXOS	77

1. INTRODUÇÃO

A construção civil é um dos setores que mais cresce no mundo, sendo reconhecida como uma importante atividade para o desenvolvimento econômico e social (HALMEMAN *et al.*, 2009). Como paradoxo, é uma atividade de grande impacto ambiental, apresentando elevado consumo de recursos naturais para a produção de bens de consumo e sendo responsável por grande parte dos resíduos gerados atualmente. Em 2005 era estimada uma geração de 68,5 milhões de toneladas pela indústria da construção do total de resíduos industriais produzidos (ÂNGULO, 2005). Eguchi *et al.* (2007), citado por Lovato (2007) estimou essa geração em 75 milhões de toneladas e os resíduos de construção civil (RCC) representam, em média, 50% da massa dos resíduos sólidos urbanos (RSU).

Os resíduos de construção civil ocupam grande volume para disposição final. A falta de destinação adequada para estes resíduos, afeta diretamente a população e o meio ambiente, pois estes resíduos são depositados irregularmente em terrenos baldios, nas margens dos recursos hídricos, em vias públicas e encostas florestadas, contaminando rios e lagoas, ocasionando enchentes, danos à paisagem, obstrução de vias e proliferação de vetores que causam doenças.

Além da destinação inadequada, a exploração de matéria-prima também causa grandes impactos ambientais. De acordo com Sjöström (1996), citado por John (2000) e Cabral (2007), a construção civil é responsável pela extração de 14% a 50% dos recursos naturais do planeta. A areia, muito utilizada na construção civil é obtida pela exploração de leito dos rios, o que causa a degradação do curso d'água devido a retirada da cobertura vegetal. A exploração de brita é realizada em formações geológicas com o uso de explosivos alterando a paisagem e a qualidade do ar.

A questão ambiental na atividade da construção civil ganhou relevância nos últimos anos, a preocupação com a escassez de recursos naturais, os impactos causados ao meio ambiente, a geração e a deposição inadequada de resíduos que causam efeitos irreversíveis ao meio ambiente tem levado a um novo conceito de construção sustentável baseado na prevenção e redução de resíduos com a utilização de tecnologias limpas e materiais recicláveis e reutilizáveis (VÁZQUEZ, 2001).

Um importante mecanismo de auxílio à gestão dos resíduos de construção civil relaciona-se a publicação da Resolução 307 (CONAMA, 2002), a qual estabelece diretrizes e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil, além de classificar os materiais

para que possam ter o tratamento e destino adequado, buscando reduzir os impactos ambientais e aplicando o uso de tecnologias para a reutilização e reciclagem do resíduo de construção civil.

A reciclagem destes resíduos é uma alternativa para economizar os recursos naturais utilizados como matéria-prima na construção civil, além de uma possibilidade de redução nos custos de construção e redução do volume final dos resíduos a serem dispostos.

O RCC contém muitos materiais passíveis de reciclagem ou reutilização. De acordo com Oliveira *et al.* (2005), citado por Oliveira e Mendes (2008), em Goiás, 60% do RCC gerado pode ser reutilizado. O resíduo de construção gerado em Salvador é composto em sua maior parte por restos de concreto e argamassa (equivalentes a 53%), 22% é solo e areia, sendo estes, materiais com alto potencial de reciclagem para a produção de agregados reciclados (CASSA *et al.*, 2001).

Uma das etapas imprescindíveis para estudos de alternativas que visem a reciclagem do RCC é a caracterização do mesmo, tanto na sua forma bruta quanto na reciclada (CASSA *et al.*, 2001), pois os fatores de geração e a composição pode interferir diretamente na qualidade do agregado reciclado produzido. A análise da composição gravimétrica dos resíduos de construção civil é um importante parâmetro a ser considerado quando se trata de sistemas de tratamento e disposição final desses resíduos. A determinação das diferentes frações dos componentes fornece alternativas de tratamento e aproveitamento do RCC (CORNELLI *et al.*, 2006).

No Brasil são muitos os trabalhos de pesquisas tecnológicas envolvendo o uso sustentável de RCC que comprovam a viabilidade técnica destes resíduos na utilização como agregado reciclado para fabricação de argamassas (ASSUNÇÃO *et al.*, 2007), concretos (CABRAL, 2007), utilização em pavimentos (LIMA, 2008) e estruturas de solo reforçado (SANTOS, 2007). A possibilidade de utilização de um resíduo deve ser avaliada tanto pelas características técnicas que se deseja, quanto pelos possíveis impactos ambientais que possa causar (SILVA e ARNOSTI Jr., 2006).

A NBR 10004 (ABNT, 2004) classifica os resíduos quanto aos seus potenciais riscos ambientais em Classe I - perigosos, Classe II A - não perigosos e não inertes e Classe II B - não perigosos e inertes. Por ser considerado inerte, o resíduo de construção e demolição já foi utilizado como agregado reciclado em obras de pavimentação e na construção de casas populares por prefeituras de cidades brasileiras como em Fortaleza, onde foi construído um

conjunto habitacional composto de 20 casas utilizando tijolo reciclado e material de escavação de obras (MAYORGA *et al.*, 2009). Entretanto, estes resíduos podem conter impurezas e contaminantes provenientes de polímeros, gesso, matéria orgânica, amianto, sílica e diversas substâncias reativas que podem prejudicar o meio ambiente e o desempenho dos materiais produzidos com os agregados reciclados (CASSA *et al.*, 2001).

Estudos realizados em algumas cidades brasileiras como Vitória (RAMOS, 2007) e Piracicaba (SILVA e ARNOSTI Jr., 2006) mostram, por meio de ensaios químicos, que o RCC deve ser classificado como Classe II A – não perigoso e não inerte. Oliveira (2002) constatou que resíduos de concreto da cidade de Rio Claro também devem ser considerados classe II A – não perigoso e não inerte. Em Fortaleza não há estudos sobre resíduos de construção civil relacionados aos seus potenciais riscos ambientais, portanto, não há confirmação de que o RCC de Fortaleza deva ser classificado como Classe II B – não perigoso e inerte, de acordo com a NBR 10004 (ABNT, 2004).

Para o máximo aproveitamento dos resíduos de construção civil de Fortaleza na reciclagem e reutilização, faz-se necessário o levantamento de indicadores de qualidade por meio da caracterização física e do estudo das características químicas do RCC, identificando o seu potencial uso como agregado reciclado, minimizando assim, os impactos ambientais e contribuindo para a sustentabilidade na construção civil. Além do que este trabalho fornecerá subsídios para implantação de um programa de gerenciamento de resíduos da construção civil no município de Fortaleza.

1. OBJETIVOS

1.1. Objetivo Geral

Caracterizar e classificar os resíduos de construção civil (RCC) da cidade de Fortaleza, Ceará, auxiliando na implantação do Programa de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos (PGIRS) no município.

1.2. Objetivos Específicos

- Determinar a composição gravimétrica dos resíduos de construção civil produzidos pela cidade de Fortaleza e classificá-los, segundo a Resolução CONAMA 307/2002;
- Determinar as características químicas dos resíduos de construção civil Classe A, por meio de testes de corrosividade, reatividade, periculosidade e solubilidade;
- Classificar o resíduo de construção e demolição Classe A conforme a NBR 10.004/2004.
- Auxiliar na implantação do Programa de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos no município.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Definição e Classificação dos RCC

Os resíduos de construção civil (RCC), também conhecidos como entulhos, são rejeitos provenientes de qualquer atividade de construção, sejam de novas construções, demolições, reformas ou escavações.

A Resolução N° 307 (CONAMA, 2002) apresenta uma ampla definição sobre os resíduos de construção civil:

Resíduos sólidos provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc, comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha (CONAMA, 2002, Art.2º)

A Resolução N° 307 (CONAMA, 2002) classifica os resíduos de construção em quatro classes. A Resolução 348, de 16 de agosto de 2004 (CONAMA, 2004) e a resolução 431, de 24 de maio de 2011 (CONAMA, 2011), modificaram a classificação da Resolução 307, inserindo o amianto como material perigoso (Classe D) e mudando a classificação do gesso de Classe C para Classe B, respectivamente.

Diante disso, a atual classificação dos RCC é:

- **Classe A** – são aqueles passíveis de reutilização ou reciclagem como agregados, tais como:
 - a) resíduos de construção, reformas, reparos e demolição de pavimentação e de outras obras de infra-estrutura, incluindo os solos gerados em atividades de terraplenagem;
 - b) resíduos de construção, reformas, reparos e demolição de edificações, tais como os componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc), argamassa e concreto;
 - c) resíduos de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto, como os blocos, tubos, meios-fios etc;
- **Classe B** – são os resíduos recicláveis para destinações que não sejam o aproveitamento como agregados, tais como plásticos, papel/papelão, metais, vidros, madeiras e gesso;

- **Classe C** – são os resíduos nos quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação, como, por exemplo, tecidos e couro.
- **Classe D** – são os resíduos perigosos gerados no processo de construção, dentre os quais se destacam as tintas, os solventes, óleos minerais e outros e aqueles contaminados provenientes de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais, telhas e demais objetos que contenham amianto.

A distinção dos resíduos de construção civil em classes possibilita ao gerador uma melhor segregação de cada material e uma destinação adequada para cada classe de RCC, dessa forma, reduzindo os custos de disposição final e contribuindo para o desenvolvimento sustentável.

Os resíduos de construção civil podem ainda ser classificados pela NBR 10004 (ABNT, 2004), considerando o risco potencial ao meio ambiente e à saúde pública. A NBR 10004 (ABNT, 2004) classifica os resíduos sólidos como sendo:

- **Classe I** – Perigosos: São aqueles que, devido suas propriedades físicas, químicas ou infecto-contagiosas, podem apresentar risco à saúde pública e ao meio ambiente. São cinco aspectos que conferem perigo aos resíduos sólidos: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, periculosidade, patogenicidade e mutagenicidade.
- **Classe II** – Não perigosos: são os que não possuem os aspectos característicos da Classe I – perigosos, sendo subdivididos em:
 - a) **Resíduos Classe II-A** – não perigosos e não inertes: são os que não se enquadram na Classe I- perigosos ou Classe II-B- inerte. Podem possuir características de biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.
 - b) **Resíduos Classe II-B** – não perigosos e inertes: são aqueles que quando submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada e desionizada, à temperatura ambiente, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor.

Na prática, para se classificar os resíduos de acordo com a NBR 10004 (ABNT, 2004) é necessário seguir a metodologia apresentada na Figura 1, na qual inicialmente é verificado se os resíduos constam no Anexo A e B da referida norma. Caso não conste, são verificados padrões de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, patogenicidade, mutagenicidade, periculosidade e solubilidade utilizando-se a NBR 10007 (ABNT, 2004), que

fixa os requisitos para amostragem dos resíduos, a NBR 10005 (ABNT, 2004), que consta o procedimento para obtenção do extrato lixiviado, visando diferenciar os resíduos em perigoso ou não perigoso, e a NBR 10006 (ABNT, 2004), que fixa os requisitos para obtenção do extrato solubilizado, buscando-se diferenciar os resíduos em Classe II A- não inerte e Classe II B- inerte. Os parâmetros para comparação se encontram nos anexos da NBR 10004 (ABNT, 2004).

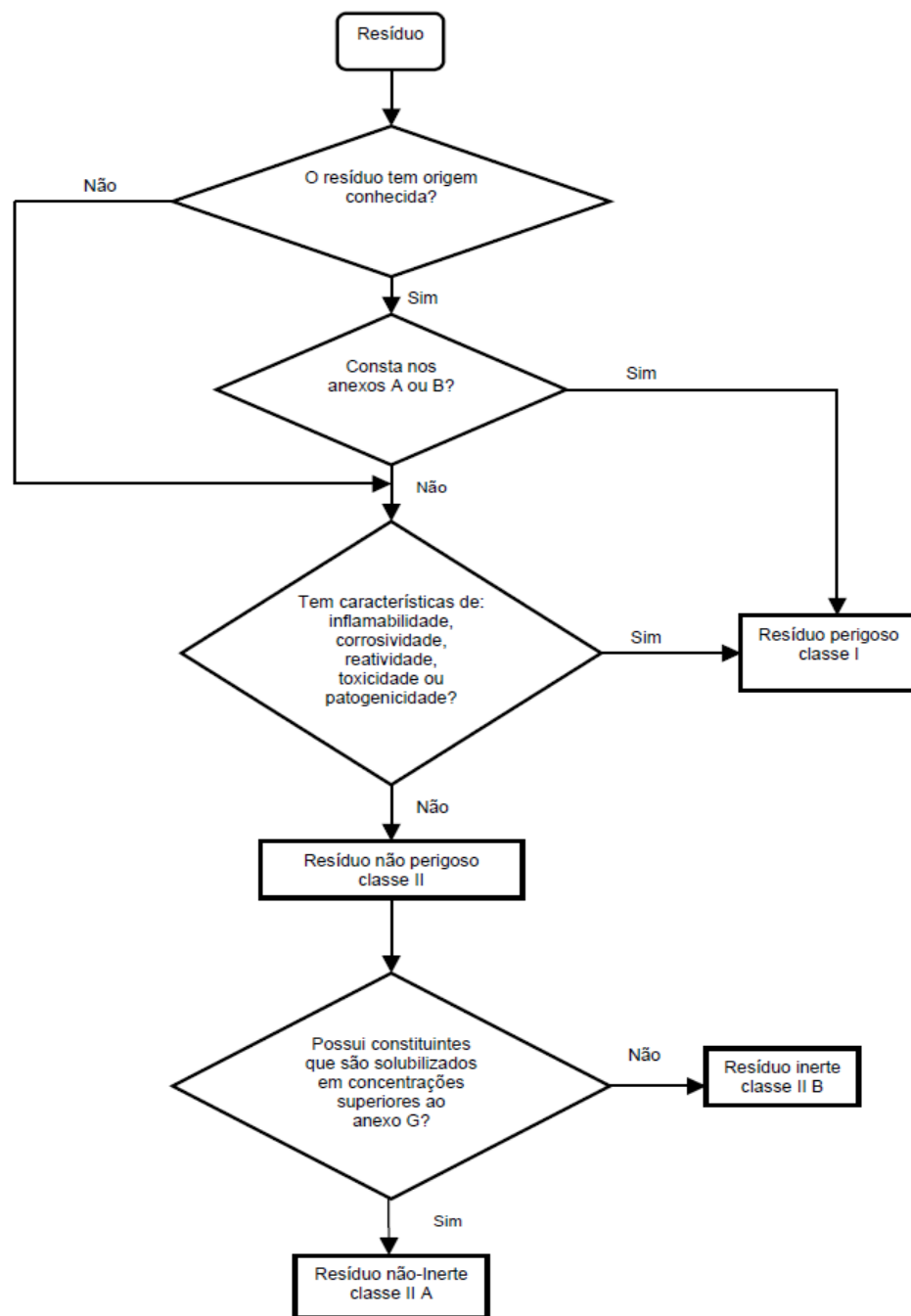


Figura 1 – Fluxograma para classificação de resíduos sólidos quanto aos riscos ao meio ambiente e a saúde pública (Fonte: ABNT, 2004).

Usualmente os resíduos de construção civil são considerados inertes (classe II-B), ou seja, não têm os seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade da água. Entretanto, Zordan (2001) afirma que dependendo da origem e da composição do resíduo de construção e demolição, este pode apresentar elementos que o torne não inerte ou perigoso, portanto, a composição química e o risco de contaminação ambiental estão diretamente relacionados com os materiais das obras que o originou (CASSA *et al.*, 2001). De acordo com Carneiro (2005), o RCC apresenta componentes que são considerados não inertes (Classe II-A), como o gesso e resíduos perigosos como tintas, solventes e óleos.

Ramos (2007) constatou por meio de ensaios de solubilização que o RCC da cidade de Vitória deve ser classificado como não inerte (Classe II-A). Oliveira (2002) verificou que os íons provenientes da decomposição de resíduos de concreto provenientes de resíduos de construção descartados pelas obras de construção contribuem para a alteração das condições das águas naturais e que deveriam ser classificados como não inertes. Silva e Arnosti Jr. (2006) também obtiveram resultado semelhante em Piracicaba em que o RCC foi classificado como sendo não inerte (Classe II-A).

3.2. Origem e Geração de Resíduos de Construção

Nas atividades de construção e reformas, o alto índice de perdas e a ausência de políticas de reutilização e reciclagem são os principais fatores de geração de resíduos (CASSA *et al.*, 2001). A geração de resíduos na construção civil ocorre em diversas fases do empreendimento, seja na construção, reformas, manutenção e demolição (AZEVEDO *et al.*, 2006). Segundo Pinto e Gonzáles (2005), os principais responsáveis pela geração de grandes volumes de RCC são executores de reformas, ampliações e demolições, atividades que geralmente não são formalizadas. Pinto (2005) apontou que em algumas cidades brasileiras mais de 75% dos resíduos de construção civil são provenientes de construções informais, enquanto que 15% a 30% são oriundas de obras formais. Dados coletados por Oliveira *et al.* (2011) mostram que 57% do RCC coletado em Fortaleza são depositados em locais clandestinos.

A Figura 2 apresenta a origem média das gerações de RCC em algumas cidades brasileiras como São José dos Campos, Ribeirão Preto, Uberlândia, Vitória da Conquista, Jundiaí, Guarulhos e Piracicaba (PINTO E GONZÁLES, 2005).

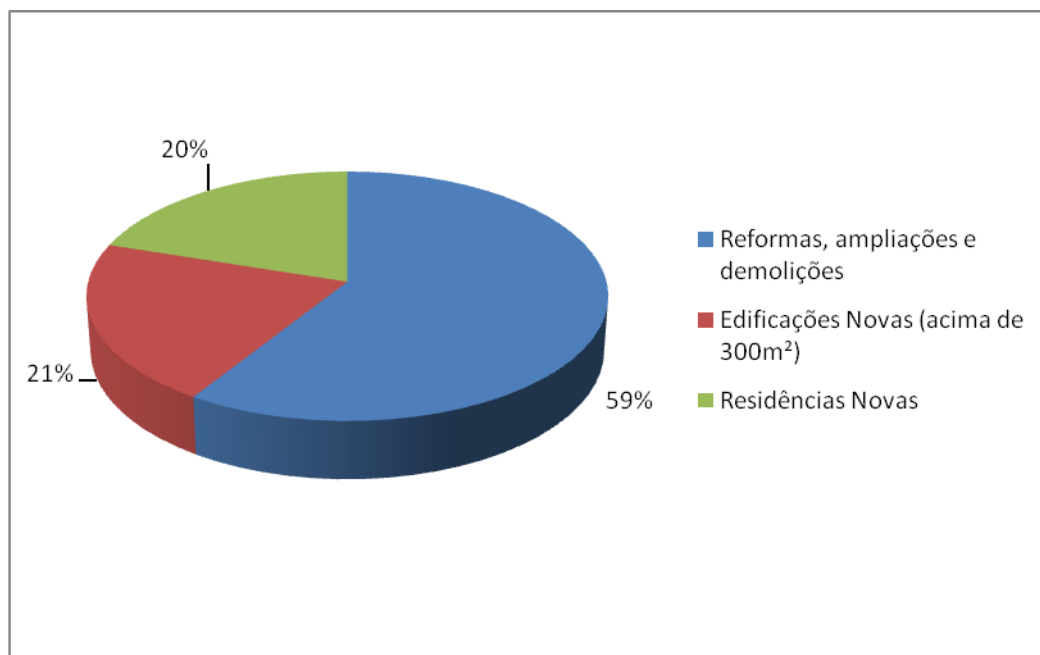


Figura 2 - Origem do RCC em algumas cidades brasileiras (% em relação à massa total de RCC's). Adaptado de Pinto e Gonzáles, 2005.

Verifica-se na Figura 2 que a porcentagem de RCC gerado por novas construções é alta quando comparada a outros países. Nos Estados Unidos, por exemplo, segundo a Agência de proteção ambiental americana, dos resíduos de construção gerados em 2003 (considerando os resíduos residenciais e não residenciais), 49% são provenientes de demolições, 42% são originados de reformas e apenas 9% são provenientes de novas construções (USEPA, 2009). Na Europa, os resíduos provenientes de demolições ultrapassam 70% do total do RCC (EIONET, 2006 citado por YANG, 2006).

Este alto índice de geração de RCC originado de novas construções nas cidades brasileiras podem ser provenientes de perdas físicas em diversas fases da construção (ÂNGULO, 2005), tais como na ausência de projetos, na manipulação dos materiais, que podem ser danificados durante transporte, na operação, causando mau funcionamento dos equipamentos, no uso dos materiais de forma incorreta, nas sobras de materiais em dosagens, além de vandalismos e roubos (ÂNGULO, 2000). Segundo Oliveira e Mendes (2008), a geração de resíduos também é influenciada pela forma como se constroem as edificações e como é feita a gestão do RCC. Ainda segundo os autores, estima-se que 10% de todo o material utilizado em uma obra vira resíduo.

O grande desperdício de materiais de construção civil provoca a redução da disponibilidade de matéria-prima e energia (LEITE, 2001). Lima (1999) citado por Elias (2006) apresenta na Tabela 1 o índice de perdas verificado na construção de um edifício na

cidade de São Paulo. Em Fortaleza, Costa (2011) verificou o percentual de perdas de alguns materiais em uma obra vertical e constatou que a perda de cerâmica interna é de 8,5% e de emboço de argamassa é equivalente a 30,7%. A principal consequência destes altos percentuais de desperdício é a grande geração de entulho, além dos custos provenientes do transporte e da remoção destes resíduos e o aumento nos gastos da obra.

Tabela 1 – Percentual de perdas verificadas na construção de um edifício em São Paulo-SP

Material	Desperdício (% em massa)	
	Real	Usual
Aço	26,19	20,0
Areia	39,02	15,0
Argamassa colante	86,68	10,0
Azulejos	9,55	10,0
Cal hidratada	101,94	15,0
Cerâmica de piso	7,32	10,0
Cimento	33,11	15,0
Concreto usinado	1,34	5,0
Componentes de vedação	12,73	5,0
Madeiras em geral	47,75	15,0

Fonte: Lima (1999 citado por Elias, 2006).

O aumento da geração de RCC também pode ser apontado pela crescente participação dos resíduos de construção civil no total dos resíduos sólidos urbanos (RSU) (OLIVEIRA *et al.*, 2011). Estima-se que em cidades brasileiras com mais de 500 mil habitantes, a massa de resíduos gerados da construção civil varia entre 41% a 70% da massa total de resíduos sólidos urbanos (PINTO, 1999). Na Europa, aproximadamente 25% do RSU é originado de resíduos de construção civil (EIONET, 2006 citado por YANG, 2006). No Reino Unido, o resíduo gerado na construção apresenta maior parcela do RSU, correspondendo a um percentual de 35% (DEFRA, 2011). Caso semelhante ocorre em Hong Kong, em que o RCC é equivalente a 38% do resíduo sólido urbano produzido (TAM e TAM, 2006).

A Tabela 2 apresenta um resumo da geração de RCC em algumas cidades brasileiras e países como Estados Unidos, Japão, Inglaterra e Reino Unido.

Tabela 2 – Geração estimada de algumas cidades brasileiras e países no mundo.

LOCAL GERADOR		GERAÇÃO ESTIMADA (10 ⁶ t/ano)
Brasil	São Paulo ^a	6,3
	Salvador ^b	0,65
	Fortaleza ^c	0,58
	Uberlândia-MG ^d	0,36
	Porto Alegre ^e	0,36
	Rio de Janeiro ^f	0,32
	Curitiba ^f	0,88
	Brasília ^f	1,02
	Florianópolis ^f	0,4
Brasil ^g		31
EUA ^h		170
Reino Unido ⁱ		101
Inglaterra ⁱ		86,9
Japão ^j		83
a)PINTO (2005), b)AZEVEDO (2006), c)NOVAES e MOURÃO (2008) d)MORAIS (2006) e) LOVATO (2007)		f)ZORDAN (2002) g) ABRELPE (2011) h) USEPA (2009) i) DEFRA (2011) j) DOSHO (2007)

Segundo dados do Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil, (ABRELPE, 2011), os municípios brasileiros coletaram cerca de 31 milhões de toneladas de resíduos de construção civil (RCC) em 2010, quantidade bem inferior quando comparada a outros países como Inglaterra e Japão. Presume-se que o resíduo de construção gerado seja superior a quantidade coletada, isto devido a deposição irregular deste resíduo em locais não licenciados, terrenos baldios, encostas de rios e lagoas e aterramento irregular. Em Fortaleza, o pequeno gerador e entulho clandestino somam 70% do entulho gerado na cidade (OLIVEIRA *et al.*, 2011).

3.3. Composição do RCC

O RCC é um resíduo bastante heterogêneo podendo conter concreto, argamassa, cerâmicas, solos, asfalto, metais ferrosos, madeira, gesso e outros materiais como plástico, borracha, vidros e papelão.

Há uma gama de aspectos que interferem diretamente na composição e características dos resíduos de construção civil, dentre eles pode-se citar: o nível de desenvolvimento da indústria de construção local, as técnicas de construção e demolição adotadas, a adoção de programas de redução de perdas e processos de reciclagem e reutilização, os tipos de materiais predominantes e disponíveis na região, o desenvolvimento de obras especiais (metrô, esgotamento sanitário, entre outros) e o desenvolvimento econômico da região (CASSA *et al.*, 2001). Por exemplo, em Hong Kong o entulho é constituído de 28% de outros materiais como plástico e papel e 17% de resíduos de concreto e argamassa (HONG KONG POLYTECHNIC, 1993 citado por CASSA *et al.*, 2001). Em Salvador essas porcentagens equivalem a 6% e 53%, respectivamente (CASSA *et al.*, 2001).

Esta variabilidade pode dificultar a separação total desse resíduo e pode ser uma das causas da pouca utilização dos agregados reciclados por parte da indústria da construção (VIEIRA, 2003), já que a maior parte dos resíduos gerados tem alto potencial para reciclagem. A análise da composição dos resíduos de construção civil (RCC) é um importante parâmetro a ser considerado quando se trata de sistemas de tratamento e disposição final desses resíduos. A determinação das diferentes frações dos componentes fornece alternativas de tratamento e aproveitamento do RCC (CORNELLI *et al.*, 2006).

Estudos realizados por Bianchini *et al.* (2005) da Itália mostram que 37% do RCC é constituído de cerâmica vermelha, 30% de concreto e materiais como madeiras, metais, plásticos e papéis somam 7,7%. Segundo a revista *Techne* (2000) citada por Oliveira *et al.* (2011) no Brasil, estima-se que, em média 65% do material descartado é de origem mineral, 13% é madeira, 8% são plásticos e 14% outros materiais.

Ramos (2007) estudou a composição do RCC gerado na cidade de Vitória e verificou que 31,9% dos resíduos são constituídos de areia e solo, 18% de argamassa e 9,6% de concreto. Em Porto Alegre, Leite (2001) analisou a composição do RCC e verificou que os resíduos de argamassa (28,26%) e material cerâmico (26,33%) eram predominantes, resultado semelhante obtido por Lovato (2007).

A Tabela 3 apresenta a composição do RCC em algumas cidades brasileiras. Observa-se que materiais que podem ser reciclados e reutilizados, tais como concreto, argamassa e material cerâmico equivalem a mais que 60% dos resíduos gerados na maioria das cidades brasileiras (CABRAL e MOREIRA, 2011). Nota-se também a grande variabilidade existente entre a composição do RCC das cidades.

Tabela 3 – Composição Gravimétrica de RCC de algumas cidades brasileiras.

Cidade	Porcentagem (%)				
	Argamassa	Concreto	Material Cerâmico	Rocha e solos	Outros
Uberlândia ¹	22	38,7	24,3	-	1,6
Porto Alegre ²	44,2	18,3	35,6	1,8	-
Florianópolis ³	37		12	15	36
Vitória ⁴	18	10,1	8,3	35,4	7,1
Salvador ⁵	53		9	27	6
Campina Grande ⁶	28	10	34	9	18
Maceió ⁷	27,8	18,7	48,2	-	2,3

Fonte: 1-MORAIS (2006), 2-LOVATO (2007), 3- XAVIER *et al.* (2002), 4-RAMOS (2007), 5- CASSA *et al.* (2001), 6-NÓBREGA (2002), 7-VIEIRA (2003) Adaptada de Cabral e Moreira (2011).

3.4. Gestão e Gerenciamento de Resíduos de Construção Civil

Analisando dados do Plano Nacional de Saneamento Básico divulgado pelo IBGE em 2008, dos 5564 municípios brasileiros, 4031 realizam algum tipo de coleta de resíduo de construção civil (IBGE, 2011), no entanto, a maior parte desses resíduos é disposta em vazadouros e aterros convencionais juntamente com resíduos domiciliares ou são utilizados pelas prefeituras e particulares como materiais para aterros. Apenas 392 municípios brasileiros fazem algum tipo de processamento de RCC para reciclagem (IBGE, 2008).

O modelo de gestão, comumente adotado por cidades brasileiras, é conhecido como gestão corretiva e se caracteriza por englobar atividades não preventivas, repetitivas e custosas, que não surtem resultados satisfatórios e, portanto, são ineficientes (CARNEIRO, 2005). Além disso, esta prática não promove a sustentabilidade, pois não incentiva a redução, reutilização e reciclagem (CABRAL, 2007).

Na gestão corretiva de RCC, algumas prefeituras municipais, na tentativa de coibir a disposição irregular de resíduos de construção civil, adotam a política de recolhimento do RCC disposto irregularmente e implantam placas com a legislação associada à proibição desta prática, em áreas, onde é comum o depósito irregular de resíduos. Como não há uma fiscalização eficaz, essa metodologia de controle de disposição irregular de RCC é bastante ineficiente (RAMOS, 2007).

A elevada geração de resíduos de construção civil impacta o meio ambiente, a saúde pública e aumenta os custos financeiros municipais com a remoção dos RCC de locais inapropriados (CASSA *et al.*, 2001). Há, portanto, uma necessidade de ruptura com o ineficaz modelo de gestão corretiva. Pinto (1999) aponta para um novo modelo de gestão diferenciada,

baseado em ações de sustentabilidade ambiental através de procedimentos que facilitem a disposição dos resíduos de construção civil, segregação dos resíduos no local de geração e reciclagem do RCC.

A gestão diferenciada de RCC tem como objetivo a melhoria da limpeza urbana, redução de custo, descarte racional dos grandes volumes gerados, preservação ambiental e redução dos resíduos nas atividades construtivas (PINTO, 1999). Conforme a Resolução N° 307 (CONAMA, 2002), a estrutura da gestão de resíduos deve seguir um sistema de gestão integrado entre as prefeituras e o setor gerador. Marques Neto (2005) acrescenta a essa estrutura um programa de conscientização ambiental para redução de RCC na fonte.

Na Figura 3, pode ser observada a proposta de gestão integrada de RCC apresentada por Marques Neto (2005), em que demonstra práticas de reciclagem e reutilização de RCC em atendimento às exigências da Resolução N° 307 (CONAMA, 2002).

Algumas cidades brasileiras já possuem sistemas de gerenciamento de RCC mais elaborados, como é o caso das cidades de São Paulo, Belo Horizonte, Salvador, Recife e Curitiba (CARNEIRO, 2005). A cidade de Belo Horizonte foi pioneira na criação de um plano denominado “Programa de Correção Ambiental e Reciclagem de Resíduos de Construção” em 1993 sendo que, este programa prevê ações de captação, reciclagem e recuperação de áreas degradadas (PINTO 1999).

A resolução N° 307 (CONAMA, 2002) determinou que em 2004, as cidades tivessem o plano de gerenciamento integrado dos RCC, exigência que foi adiada para 2006. Neste mesmo ano, o plano integrado de gerenciamento do RCC de Fortaleza foi elaborado, porém, não houve a implementação de fato deste plano.

Há muitas dificuldades no sentido de normatizar e organizar a gestão de RCC seja por questões culturais ou por questões de incompatibilidade entre os órgãos ambientais (MAYORGA *et al.*, 2009). Para um efetivo desenvolvimento a gestão de RCC na cidade de Fortaleza é indispensável o compromisso de gestores, geradores e órgãos de monitoramento e fiscalização.

Outros pontos importantes a serem citados e que são fundamentais para um efetivo gerenciamento dos resíduos de construção civil é coleta, transporte, tratamento e disposição final dos RCC. A coleta e o transporte consistem em um conjunto de operações de remoção dos resíduos das fontes geradoras e o encaminhamento para locais de tratamento ou disposição final com auxílio de veículos adequados (IBAM, 2001). Geralmente, é feita por

empresas contratadas pelo construtor, entretanto, os construtores informais ou pequenos construtores raramente utilizam os serviços de empresas coletoras e depositam seus resíduos irregularmente ao longo de vias públicas, margens de rios e córregos, impedindo tráfego de pedestres, assoreando leito de rios, causando danos a paisagem (CABRAL, 2007). De acordo com Oliveira *et al.* (2011) há casos em que empresas coletoras depositam os RCC coletados em locais clandestinos. Algumas empresas coletoras também costumam vender seus resíduos para aterramentos irregulares.

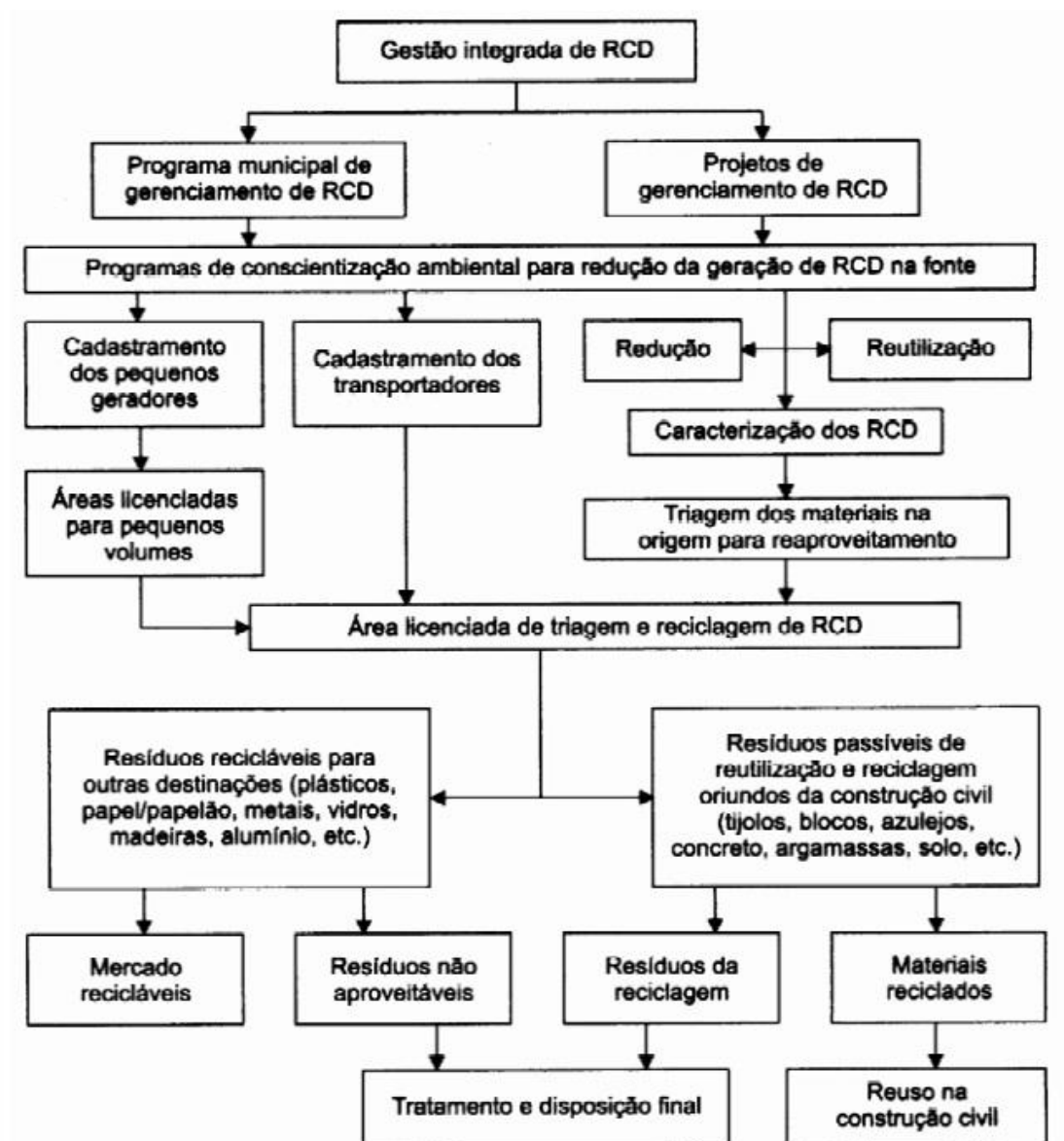


Figura 3 – Fluxograma da Gestão Integrada de RCC (MARQUES NETO, 2005 citado por CABRAL, 2007).

Em Fortaleza, existem empresas de coleta que são responsáveis pela coleta de resíduos de construção civil e que são contratadas pelo gerador. O órgão municipal é responsável por coletar o RCC de pequenos geradores e também o que esteja depositado em local inapropriado e transportá-lo até o local adequado. Apenas em 2005 passou-se a ser exigida dos grandes geradores a elaboração do projeto de gerenciamento de RCC.

O tratamento do RCC consiste em uma série de procedimentos que busca reduzir a quantidade e o potencial poluidor deste resíduo (IBAM, 2001). Geralmente o RCC não é tratado, e em sua grande maioria, é utilizado em aterramentos irregulares de terrenos, lagoas e áreas alagadas (Figura 4).



Figura 4 - Aterramento irregular de lagoa para construção de moradia em Santos-SP. Fonte: Instituto EcoFaxina, 2011.

O RCC quando não depositado irregularmente é conduzido pelas empresas coletoras até locais licenciados, geralmente aterros de inertes e usinas de reciclagem. A reciclagem do RCC é uma excelente alternativa, uma vez que a produção de agregados reciclados provenientes de RCC reciclado reduz a extração de matéria-prima do ambiente e custos de energia na produção e transporte do material, reduz a geração desse tipo de resíduo aumentando a vida útil de aterros licenciados e contribuindo para a construção sustentável.

3.5. Legislação e Normas

A legislação brasileira que se refere aos resíduos de construção civil é relativamente recente. Carneiro (2005) destaca que a Constituição Federal de 1988 foi o primeiro instrumento legal a ser considerado para análise de resíduos sólidos, onde no seu artigo 30 estabelece competência do município organizar e prestar serviços públicos de interesse local.

Em âmbito nacional, o marco divisor da gestão dos resíduos de construção civil é a Resolução Nº 307 (CONAMA, 2002), como já citada em tópico anterior, pois esta estabelece diretrizes e procedimentos para a gestão dos resíduos de construção, ressaltando a responsabilidade do gerador sobre os seus resíduos, além de classificar os RCC de acordo com o seu potencial de reutilização e reciclagem. Esta resolução obriga ainda a elaboração de um plano integrado de Gerenciamento de Resíduos de Construção Civil pelos municípios e Distrito Federal e se fundamenta no princípio de priorizar a não geração de resíduos e na viabilidade técnica e econômica da fabricação de materiais produzidos a partir da reciclagem de RCC (PIOVEZAN, 2007).

A Política Nacional de Resíduos Sólidos instituída, pela Lei Federal Nº 12.305 em 2010, no que se refere aos resíduos de construção civil, estabelece em seu artigo 20 que “as empresas de construção civil estão sujeitas à elaboração de um plano de gerenciamento de resíduos sólidos, nos termos do regulamento ou de normas estabelecidas pelos órgãos do SISNAMA”.

As leis estaduais vigentes no Brasil, de maneira geral, tratam o a questão dos resíduos sólidos de forma global, estabelecendo critérios e proibições para seu acondicionamento, transporte e disposição final (CARNEIRO, 2005).

O Estado do Ceará possui uma Política Estadual de Resíduos Sólidos, instituída pela Lei Nº 13.103 em 5 de fevereiro de 2001. A Lei define diretrizes e normas de prevenção do controle da poluição e atribui responsabilidades aos geradores de resíduos. Em referência aos resíduos de construção civil, os Art. 29 e 30 atribuem ao gerador a elaboração e a implementação de um plano de gerenciamento de resíduos da construção civil e o transporte, tratamento e destinação final destes resíduos, respectivamente. Em Fortaleza, a Lei Municipal Nº 8.408, de 24 de dezembro de 1999, estabelece normas de responsabilidade aos geradores de resíduos que produzam em quantidades superiores aos 50Kg por dia e que seja proveniente de estabelecimentos domiciliares públicos, comerciais, industriais e de serviços. A Lei estabelece ainda em seu Art. 5º que será exigido plano de gerenciamento dos serviços de

acondicionamento, coleta, transporte, tratamento e destinação final de resíduos, com requisitos indispensáveis para a análise dos pedidos de licença para construção, reforma ou ampliação de prédios ou funcionamento de estabelecimento que se enquadre em quaisquer atividades que relata o Art. 1º.

No Estado de São Paulo, a Secretaria do Estado de Meio Ambiente (SMA) criou a Resolução SMA Nº41/2002, que dispõe sobre procedimentos para licenciamento ambiental de aterros de resíduos inertes e da construção civil. Na cidade de São Paulo, o Decreto Nº 4.875/2006, tornou obrigatório o uso de material proveniente de reciclagem de resíduos de construção civil nas obras e serviços de pavimentação de vias públicas da capital paulista, uma importante iniciativa que contempla o uso de materiais reciclados (SANTOS, 2008).

A iniciativa mais recente em âmbito municipal na cidade de Fortaleza foi a publicação da Portaria Nº48/2011 pela Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Controle Urbano de Fortaleza (SEMAM), que estabelece que todos os procedimentos construtivos devem implementar o sistema de logística reversa, com a utilização de agregados reciclados e justificativa caso não haja utilização destes agregados.

Outro avanço neste tema foi a elaboração de normas técnicas publicadas pela ABNT em 2004. Tais normas técnicas representam importante instrumento de auxílio aos agentes públicos e geradores de resíduos (COSTA, 2003), e foram criadas no sentido de padronizar e normatizar ações referentes aos RCC, tais normas estão listadas abaixo:

- NBR 15.112/04 – Resíduos da construção civil e resíduos volumosos – Áreas de transbordo e triagem – Diretrizes para projeto, implantação e operação
- NBR 15.113/04 – Resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes. Aterros. Diretrizes para projeto, implantação e operação;
- NBR 15.114/04 – Resíduos sólidos da construção civil. Áreas de Reciclagem. Diretrizes para projeto, implantação e operação;
- NBR 15.115/04 – Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil. Execução de camadas de pavimentação. Procedimentos;
- NBR 15.116/04 – Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos.

3.6. Impactos Ambientais Causados pelo RCC

O impacto ambiental na construção civil é, de maneira geral, proporcional à sua tarefa social (JOHN, 2000 citado por CARNEIRO, 2005). Os resíduos de construção civil provocam grandes impactos negativos quando não são submetidos a uma destinação final adequada. A cidade de Fortaleza apresenta uma grande geração de RCC, os quais precisam ser adequadamente gerenciados sob pena de provocarem impactos ambientais (MAYORGA *et al.*, 2009).

O resíduo de construção e demolição, por ser um resíduo bastante volumoso, representa um grave problema nos centros urbanos, principalmente pela falta de espaço para a destinação final adequada desses resíduos. São responsáveis por diversos impactos que podem ser verificados desde o momento da geração dos seus componentes, em que são extraídos recursos da natureza até a sua disposição final, muitas vezes, depositados em locais inadequados, resultando em problemas urbanos e ambientais, tais como enchentes, proliferação de vetores de doenças, interdição parcial de ruas e avenidas, instabilidade de encostas, eliminação progressiva de áreas naturais, aterramentos indevidos e entupimento de galerias de esgotos e pluviais (CARNEIRO, 2005, RAMOS, 2007).

Uma prática muito comum é utilizar os resíduos de construção civil para aterrar áreas sem acompanhamento técnico para futuras construções (Figuras 5a e 5b). Esta prática pode contaminar o solo e o meio ambiente, além de em alguns casos inviabilizar as construções (RAMOS, 2007).



Figura 5a e 5b - Área aterrada irregularmente próxima a um córrego em Fortaleza.

É comum em cidades brasileiras a existência de áreas irregulares utilizadas como depósito de resíduos de construção, sendo estas áreas denominadas de pontos de vício. O

descarte ocorre, geralmente, em terrenos baldios, margens de pequenos cursos d'água, ao longo de vias públicas (LATTERZA e MACHADO, 2003). Estes pontos de vício são encontrados principalmente em áreas de periferia, onde não há fiscalização. Segundo Beline (2006), entre os locais preferidos para lançamento de RCC estão áreas públicas, áreas de preservação permanente, no entorno de parques municipais e terrenos de propriedade particular. A Figura 6 mostra ponto de deposição irregular de RCC localizado na praia do Iguape-CE.



Figura 6 – Deposição irregular de RCC em área de vegetação litorânea no Iguape-CE.

As Figuras 7 e 8 mostram a deposição irregular de RCC em área de vegetação e em via pública na cidade de Fortaleza. Estes depósitos revelam um extenso comprometimento do ambiente e da paisagem local. Além disso, como o gerenciamento destes resíduos funciona com a limpeza repetida destes locais, os resíduos são conduzidos ao aterro sanitário/controlado da cidade, causando um esgotamento precoce dos mesmos, gerando também impactos econômicos negativos.



Figura 7 - Deposição em área de vegetação próxima a um córrego em Fortaleza.



Figura 8 – Deposição em via pública em Fortaleza.

Estas práticas desencadeiam também a desvalorização de áreas circunvizinhas dos locais de deposição irregular, atraindo outros materiais como resíduos sólidos domiciliares e resíduos industriais, promovendo a proliferação de vetores de doenças, a poluição visual, a degradação do sistema natural e o comprometimento da drenagem urbana e assoreamento de corpos d'água (CARNEIRO, 2005).

Uma alternativa muito utilizada nas cidades é a utilização de áreas particulares e áreas em recuperação que são licenciadas para depósito dos RCC. Embora sejam uma alternativa viável, os resíduos de construção civil podem conter contaminantes provenientes de resíduos de solventes, tintas e amianto, que podem contaminar a água e o solo.

3.7. Reciclagem dos RCC

A reciclagem de resíduos de construção civil é uma necessidade para preservação do meio ambiente. De acordo com Piozevan Jr. (2007), a reciclagem de RCC é a principal condição para a sustentabilidade e a diminuição dos impactos ambientais provocados pela indústria da construção civil.

De acordo com Carneiro (2005), a reciclagem de RCC é uma prática tão antiga quanto a construção, sendo praticada há séculos pelas civilizações antigas. Cabral (2007) cita que há registros de reaproveitamento de resíduos da construção civil pelos fenícios, império romano e Grécia Antiga. Entretanto, esta reciclagem era feita de forma desorganizada e intuitiva.

Os primeiros estudos sistemáticos sobre características dos agregados reciclados tiveram início em 1928 na Alemanha, mas somente após a 2ª Guerra Mundial é que estes foram utilizados de forma generalizada, na reconstrução das cidades europeias (SCHUZ e HENDRICKS, 1992 citado por CARNEIRO, 2005 e CABRAL, 2007).

Atualmente, a reciclagem de RCC encontra-se consolidada na Europa Ocidental, Japão e nos EUA (CARNEIRO, 2005). Países como Holanda e Dinamarca, no início da década de 90, já reciclavam 60% do RCC gerado (PINTO, 1999).

O Japão, alcançou avanços significativos desde a década de 80 no que se refere a reciclagem de RCC, com aproximadamente 2/3 dos resíduos de concreto produzidos, são reutilizados (KAWANO, 2000 citado por CABRAL, 2007). Nos EUA, cerca de 48% do resíduo de construção gerado é recuperado (USEPA, 2009) e na Inglaterra, 62% do RCC gerado é reciclado (DEFRA, 2011).

A prática de reciclagem de RCC no Brasil ainda é recente quando comparada aos países europeus e ao Japão. Segundo Ângulo (2000), os estudos de reciclagem de RCC iniciaram-se em 1983 com Cincotto, que estudou a utilização de resíduos e subprodutos na construção civil, e no mesmo ano Pinto verificou a utilização do agregado miúdo do resíduo de construção em argamassa.

Atualmente, várias prefeituras brasileiras operam centrais de reciclagem de RCC, produzindo agregados utilizados em pavimentação e na produção de pequenos componentes de concreto. Entretanto, uma das grandes deficiências das políticas de reciclagem no Brasil é o risco de interrupção do funcionamento, devido a descontinuidade que caracterizam as ações das administrações públicas. O setor privado detinha uma pequena parcela na operação de

centrais de reciclagem, geralmente operando na produção de argamassas, realidade que se modificou com a publicação da Resolução Nº 307. Em 2008, das 36 usinas em operação no Brasil, 58% pertenciam ao setor privado (MIRANDA, *et al.*, 2009). Fortaleza e Belo Horizonte já possuem usinas de reciclagem, embora com algumas dificuldades tecnológicas e econômicas e principalmente de mercado (JOHN e AGOPYAN, 2000).

De acordo com John (2000) e Carneiro (2005), a reciclagem na construção civil pode gerar inúmeros benefícios, dentre os quais podem ser citados:

- a redução do consumo dos recursos naturais não renováveis, quando substituídos por resíduos reciclados;
- a preservação das reservas naturais e da dinâmica dos ecossistemas, diminuindo processos erosivos e preservação de fauna e flora do local de onde são extraídas as matérias-primas para a produção de materiais para a construção civil;
- a redução do consumo de energia durante o processo de produção e transporte;
- a redução da poluição do ar, sonora e da água;
- geração de emprego e renda;
- aumento da vida útil das áreas de destinação final do RCC.

Além dos benefícios ambientais, Carneiro (2005) cita vantagens econômicas em que destaca a redução nos custos com o transporte de RCC de áreas de deposição clandestina para aterros licenciados e no preço dos produtos reciclados.

A reciclagem de resíduos também pode causar impactos negativos ao meio ambiente. O tipo de resíduo, a tecnologia empregada e a utilização do material reciclado, podem ser tão impactantes quanto o próprio resíduo antes de ser reciclado. Isto porque a reciclagem do RCC necessita de energia para transformar o RCC em material reciclado, também são necessárias matérias-primas para modificá-lo física e/ou quimicamente e há a geração de resíduos, cuja quantidade vai depender do tipo de reciclagem escolhida (ÂNGULO, ZORDAN e JOHN, 2001). Segundo Piozevan Jr. (2007), a reciclagem só é viável, se os resíduos de construção civil não apresentem contaminantes nocivos ao meio ambiente e os materiais produzidos a partir do RCC reciclado possuam viabilidade técnica e econômica. Portanto, é necessário que haja critérios e estudos para a escolha da melhor alternativa possível de reciclagem de RCC, de maneira que consuma pouca energia e matéria-prima e que o processo escolhido seja de baixo impacto.

Atualmente, há muitas possibilidades para reaproveitamento de RCC através de reutilização ou reciclagem. Segundo Carneiro (2005), a alternativa mais utilizada ainda é o aterramento, que são aplicados sem nenhum beneficiamento, muitas vezes realizados de maneira descontrolada, se tornando uma prática responsável por impactos ambientais como aterramentos de lagoas e mangues para construções irregulares.

A forma mais simples de reciclagem do RCC é a utilização em pavimentação. Zordan (2001) explica que há um baixo custo operacional, possibilidade de utilização de todos os minerais constituintes do RCC e também a economia de energia no processo de britagem do material.

Muitos estudos foram desenvolvidos com o intuito de analisar a utilização de agregados reciclados de RCC na fabricação de concreto. Zordan (2001) afirma que o agregado reciclado pode ser utilizado como agregado para concreto estrutural, substituindo areia e brita, embora ainda não seja permitido por norma no Brasil. Cabral (2007) concluiu que é possível utilizar agregado reciclado, considerando sua variabilidade, na produção de concreto.

Outros materiais provenientes da construção civil que também podem ser reciclados é a madeira, que pode ser reutilizada na própria construção e ou incinerada, para aproveitamento de energia, os metais, podem ser utilizados na fabricação de novos metais, o asfalto pode ser reaproveitado no processamento de novos asfaltos para construção de estradas e o vidro pode ser utilizado em fibras de vidro, telhas e blocos (CABRAL, 2007).

3.8. Impurezas e Contaminantes do RCC

São considerados impurezas e materiais contaminantes do RCC Classe A praticamente todos os materiais não inertes ou materiais que prejudicam a qualidade de concretos e argamassas tais como: cloretos, sulfatos, matéria orgânica, vidro, betume, gesso, metais, álcalis e areias industriais quimicamente contaminadas. A presença dessas impurezas e contaminantes pode prejudicar a qualidade técnica do produto contendo o reciclado e significar riscos ambientais (CASSA *et al.*, 2001).

Os resíduos de construção civil Classe A podem também apresentar diversos outros tipos de resíduos como sobras de madeiras da construção, plásticos, demolição de edificações industriais, asfaltos provenientes de atividades de pavimentação, resinas sintéticas como óleos de maquinários utilizados na construção, pinturas e asbestos de telhas de cimento amianto (ÂNGULO e JOHN, 2006).

A presença destes compostos, de acordo com Ângulo e John (2006) e Hendriks (2000) têm causado uma série de problemas em aterros de inertes, taludes e obras de infraestrutura como por exemplo:

- a compactação em aterros pode causar a dispersão de fibras de cimento amianto expondo funcionários e a população local a riscos de saúde;
- nos Estados Unidos, alguns incêndios foram detectados em aterros inertes de resíduos de construção civil pela presença de substâncias orgânicas (à base de carbono);
- aterros de resíduos inertes podem ser utilizados para abrigar ilegalmente resíduos perigosos;
- a reciclagem intensa e cíclica pode aumentar a concentração de contaminantes, principalmente.

Ângulo, Zordan e John (2001) citam que o risco à saúde dos usuários de um novo produto feito a partir de agregado reciclado de RCC é um parâmetro, geralmente, desprezado. Os resíduos são muitas vezes constituídos de elementos perigosos como metais pesados (Cd, Pb) e compostos orgânicos voláteis. Estes materiais, mesmo quando inertes podem apresentar riscos, pois nem sempre os processos de reciclagem garantem a imobilização destes componentes. Além disso, a liberação de íons de metais pesados e de compostos como sulfato e fenol presentes no RCC pode contaminar o solo e os aquíferos (SILVA e ARNOSTI Jr., 2006).

Leite (2001) e Lovato (2007) apresentam exemplos de contaminantes possíveis de estar presentes na composição do RCC e suas influências sobre os produtos reciclados:

- **Matéria orgânica ou solos argilosos:** materiais provenientes de demolição são frequentemente contaminados por matéria orgânica ou solos argilosos, quando incorporados ao material são de difícil remoção. Concretos produzidos com agregados contaminados podem ter suas resistências mecânicas reduzidas. Leite (2001) destaca que essas impurezas, normalmente, estão presentes em maiores quantidades na parte mais fina do material reciclado (LEITE, 2001; LOVATO, 2007).
- **Materiais betuminosos:** alguns estudos comprovam que a presença de material betuminoso nos agregados reciclados reduz consideravelmente a resistência de concreto, além disso, o agregado reciclado contaminado por esse material pode contribuir para incorporação de ar ao concreto (LEITE, 2001; LOVATO, 2007).

- **Gesso:** é um material bastante nocivo ao concreto, pois forma um composto secundário, altamente expansivo, que pode causar fissuras no concreto (LEITE, 2001). De acordo com Sarti (2008), o íon sulfato causa grandes prejuízos ambientais podendo degradar mananciais.
- **Tintas:** os resíduos provenientes de demolição e de reformas são os maiores responsáveis pela entrada de resíduos de tintas em locais de disposição final de RCC. As tintas podem conter metais pesados em sua composição como chumbo e cromo. O chumbo é um metal pesado presente na composição de pigmentos e secantes em tintas de parede no Brasil e em vários países em desenvolvimento (NYCZ, 2009). É um metal tóxico ao meio ambiente e a saúde humana. Embora a lei regulamente o teor de chumbo em tintas, estudos realizados por Nycz (2009) revelam que algumas tintas brasileiras possuem teor do metal acima do permitido.
- **Resinas e solventes:** as resinas plásticas e solventes, muito utilizadas na vedação de canos PVC, e os solventes, utilizados como diluentes de tintas, contêm fenóis que são compostos ácidos, bactericidas, com efeitos carcinogênicos e mutagênicos (BOLAÑOS *et al*, 2001), podendo ocasionar sérios danos ao meio ambiente e ao homem.
- **Cloretos:** a presença de cloretos nos concretos pode provocar problemas de corrosão de armaduras. A contaminação por cloretos pode ocorrer através do uso de agregados retirados de zonas marinhas.
- **Amianto:** o amianto é considerado resíduo perigoso desde 2004, quando foi publicada a Resolução Nº 348 (CONAMA, 2004). Entretanto, é um produto bastante comum em construções antigas que utilizam telhas desse material e caixas d'água. À medida que estas construções são demolidas e reformadas, o amianto é descartado, na maioria das vezes, em aterros de inertes ou irregulares. O amianto é uma substância tóxica, que podem causar danos à saúde humana e poluição do ar. As fibras de amianto se inaladas podem causar fibrose pulmonar e câncer de pulmão (GIANNASI, 2006).

Nesse contexto, é importante conhecer a origem e a composição do RCC, pois isto irá determinar os tipos de impurezas ou contaminantes que podem fazer parte do resíduo. Isso permite avaliar se o material pode ou não ser utilizado para produção de agregado reciclado e também qual a destinação mais viável para o RCC (LEITE, 2001).

4. METODOLOGIA

4.1. Coleta dos RCC

Os locais de coleta dos RCC foram áreas licenciadas para receber resíduos de construção civil da cidade de Fortaleza, aqui denominados de TERRAPLENA e USINE.

O TERRAPLENA é uma área em recuperação que utiliza resíduos de construção civil Classe A como material de aterro. Está localizado na Avenida das Adenanteras, 759, Cidade 2000, em Fortaleza (Figura 9). Este encerrou suas atividades no final de abril de 2011 e recebia uma média de 10.976,13 m³ por mês.



Figura 9 – Localização da unidade receptora de RCC Terraplana em Fortaleza-CE (Fonte: Google)

A Usina de Reciclagem do Nordeste (USINE) recebe resíduos Classe A e B. Está localizada na Estrada do Ancurí, S/N, em Itaitinga, região metropolitana de Fortaleza (Figura 10). A USINE iniciou suas atividades em junho de 2011 e recebe uma média de 8.823,62 m³ por mês.

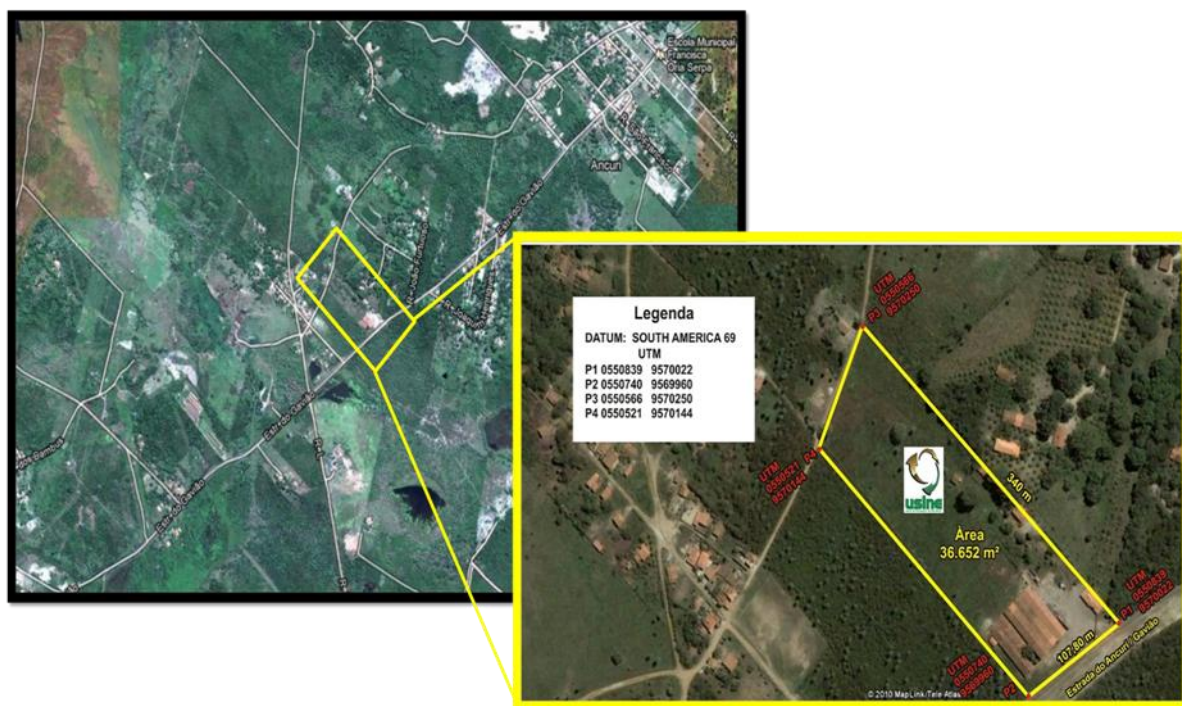


Figura 10 – Localização da unidade receptora de RCC USINE em Itaitinga-CE. Fonte: USINE.

As coletas foram realizadas durante os meses de janeiro, abril, julho e setembro do ano de 2011, totalizando quatro amostras. A escolha do período de coleta levou em consideração a escala temporal na amostragem. Cada amostra consistiu em quatro coletas mensais de aproximadamente 70 kg cada. As coletas ocorreram na primeira e terceira semana do mês referente às mesmas, em dias e períodos alternados. No Quadro 1 apresentam-se os períodos de coleta.

As amostras referentes aos meses de janeiro e abril foram coletadas no TERRAPLENA, enquanto que as de julho e setembro foram coletadas na USINE. Os resíduos foram armazenados em sacos de nylon, ao final de cada coleta diária.

Quadro 1 – Período de amostragem dos RCC de Fortaleza-CE.

AMOSTRA	MÊS	LOCAL DE COLETA	DIA DO MÊS			
			Terça (Manhã)	Quinta (Tarde)	Terça (Tarde)	Quinta (Manhã)
1	Janeiro	Terraplana	11	13	25	27
2	Abril	Terraplana	12	14	26	28
3	Julho	Usine	12	14	26	28
4	Setembro	Usine	6	8	20	22

Tecnicamente, foram seguidas as recomendações da NBR 10007 (ABNT, 2004) com algumas adaptações. O amostrador *trier* não foi utilizado uma vez que, não se mostrou

adequado para o tipo de resíduo coletado. As coletas foram realizadas em pilhas de resíduos que chegavam ao TERRAPLENA e a USINE no período de coleta. Cada caminhão que chegava ao local despejava o seu material em local específico, determinado pelo administrador da área licenciada. Em seguida, os resíduos foram coletados com auxílio de uma pá e de um recipiente de 3 litros em pontos distintos da pilha de resíduos, como determinado na NBR 10007 (ABNT, 2004). Por dia, foram realizadas, aproximadamente, coletas em dez pilhas de resíduos distintas.

Ao final de cada coleta mensal, foi gerada uma amostra composta que passou por um processo de homogeneização, seguida de quarteamento, em locais nas proximidades das áreas de coleta. Os resíduos foram dispostos em uma pilha e foram homogeneizados manualmente com auxílio de enxadas e pás. A pilha de resíduos foi dividida em quatro partes com o auxílio de uma barra de ferro para demarcar a parte central da pilha. Com o auxílio de uma enxada foram selecionados dois lados diametralmente opostos (Figura 11). As partes selecionadas foram armazenadas em sacos de nylon e pesadas em uma balança digital. Este procedimento foi feito para se obter uma porção representativa de cada amostra inicial. Os resíduos armazenados foram utilizados para determinação da composição gravimétrica e para os ensaios químicos.



Figura 11 – Sequência de homogeneização e quarteamento da pilha de resíduos de construção civil.

4.2. Caracterização Física do RCC de Fortaleza Segundo a Resolução N° 307 (CONAMA, 2002)

As amostras já quarteadas foram conduzidas ao Laboratório de Materiais de Construção Civil (LMCC) do Departamento de Construção Civil (DCC) do Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE), onde foram novamente pesadas em uma balança eletrônica com capacidade máxima para 100 kg para obtenção do peso total da amostra representativa (PTA).

A segregação dos resíduos presentes nas amostras foi realizada manualmente e os grupos de materiais foram definidos conforme adaptação de metodologia de Cassa *et al.* (2001) e Ramos (2007). Os grupos de resíduos foram enquadrados em classes estabelecidas pela Resolução N° 307 (CONAMA, 2002), ou seja, nas classes A, B, C e D. O Quadro 2 apresenta-se os grupos definidos para obtenção da composição gravimétrica do RCC de Fortaleza.

Quadro 2 – Classes definidos para composição gravimétrica dos RCC da cidade de Fortaleza-CE

Classe A	Classe B	Classe C	Classe D
1. Argamassa 2. Concreto 3. Tijolo Branco 4. Areia e Solo 5. Cerâmica Vermelha 6. Cerâmica de Revestimento	1. Outros (plástico, papelão, madeira, vidro, ferro) 2. Gesso	1. Tecido, espuma, couro	1. Amianto, embalagem de tinta, cola e solvente

Para a obtenção da composição gravimétrica de cada amostra, esta foi espalhada sobre um piso de concreto no LMCC e os resíduos foram posteriormente separados manualmente e colocados em bandejas específicas, sendo uma para cada tipo de resíduo (Figura 12).



Figura 12 – Disposição do resíduo para obtenção da composição gravimétrica do RCC de Fortaleza-CE.

O resíduo de menor tamanho foi peneirado utilizando-se uma peneira de abertura 12,5mm; sendo que o resíduo retido na peneira foi separado e acondicionado em seus respectivos recipientes, enquanto que o resíduo com granulometria inferior a 12,5mm foi considerado como areia e solo. A abertura da peneira foi definida em 12,5mm, pois a partir dessa granulometria não era possível identificar e diferenciar o tipo de resíduo encontrado. Cada resíduo contido em seus respectivos recipientes foi pesado em balanças eletrônicas de capacidade máxima de 100 kg e 10 kg para obtenção do peso do resíduo na amostra (PRA).

O percentual de composição gravimétrica foi obtido a partir da equação 1:

$$PCG = \frac{PRA}{PTA} \times 100\% \quad (1)$$

Sendo:

PCG: Percentual de composição gravimétrica do RCC de Fortaleza (%).

PRA: Peso do resíduo na amostra (kg).

PTA: Peso total da amostra representativa (kg).

Após pesagem e classificação do RCC, o resíduo pertencente à Classe A foi armazenado para a realização dos ensaios químicos, enquanto que o resíduo pertencente às outras classes foi descartado.

Foram utilizadas medidas descritivas, tais como média, mediana, desvio-padrão e coeficiente de variação, para análise estatística. A análise foi feita com auxílio do Software Excel® 2007.

4.3. Classificação Química do Resíduo Classe A, Segundo a NBR 10004 (ABNT, 2004)

A classificação do resíduo de construção e demolição Classe A, de acordo com a NBR 10004 (ABNT, 2004), exige avaliações de potenciais riscos ambientais do resíduo. Foram realizados os testes de corrosividade, reatividade, periculosidade e solubilidade. Ficaram ausentes os testes de inflamabilidade, patogenicidade e mutagenicidade porque não se tem notícias na bibliografia de que este tipo de resíduo apresente características relacionadas a estes aspectos.

A análise de corrosividade e reatividade seguiram a metodologia citada na NBR 10004 (ABNT, 2004). As análises de solubilidade e periculosidade foram realizadas de acordo com as recomendações da NBR 10005 (ABNT, 2004) e NBR 10006 (ABNT, 2004), respectivamente.

4.3.1. Preparação das Amostras para as Análises

O resíduo pertencente à classe A foi reduzido à uma granulometria inferior a 9,5mm, de acordo com as determinações da NBR 10005 (ABNT, 2004) e NBR 10006 (ABNT, 2004). Para tanto, britou-se as amostras de RCC em britadores de mandíbula (Figura 13). A amostra 1 foi britada na Superintendência Regional do DNIT em Fortaleza, enquanto que as demais amostras foram cominuídas no Laboratório de Preparação de Amostras (LEF) na Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial do Ceará (NUTEC), em Fortaleza. Ao final do processo de britagem, o material foi peneirado em uma peneira de abertura 9,5mm, sendo que o material retido foi rebritado e repeneirado.



Figura 13 – Britagem do resíduo Classe A

O material passante na peneira 9,5mm passou por um processo de homogeneização e quarteamentos sucessivos, utilizando uma colher de pedreiro, como especifica a NBR 10007 (ABNT, 2004) (Figura 14), até se obter aproximadamente 4 kg de amostra representativa. Para cada coleta, cada amostra foi acondicionada em sacos plásticos devidamente identificados para a preparação dos extratos lixiviados e solubilizados.

Os extratos foram preparados no Laboratório de Tecnologia Química (LTQ) do IFCE. As amostras passaram por um processo de secagem em estufa na temperatura de 40°C durante 12 horas, sendo pesadas antes da secagem e após a secagem para medição do teor de umidade conforme exigências da NBR 10006 (ABNT, 2004).

O extrato lixiviado foi preparado para a análise de periculosidade e foi produzido de acordo com a NBR 10005 (ABNT, 2004). Este foi preparado para resíduos com teor de sólidos igual a 100% e para parâmetros não voláteis.



Figura 14 – Sequência de homogeneização e quarteamento da amostra de resíduo Classe A.

A solução de extração foi preparada utilizando-se 11,4mL de ácido acético glacial 100% PA, 128,6mL de hidróxido de sódio 0,1N (NaOH) e o volume de 2L foi completado com água deionizada. Esta quantidade foi preparada para cada amostra, sendo que o pH da solução extratora resultou em 5. Em seguida, foi pesada 100g de cada amostra a ser analisada e esta foi adicionada em frascos contendo a solução de extração em volume 20 vezes a massa utilizada. Os frascos foram vedados e agitados em uma incubadora com agitação orbital (Figura 15), substituindo o agitador rotatório de frascos, em tempo de agitação de 20 horas a 70rpm. Após este procedimento, os extratos lixiviados das amostras foram obtidos por filtração a vácuo, sendo medido o pH do filtrado obtido. O extrato lixiviado foi então preservado de acordo com os parâmetros a serem analisados e foram separadas alíquotas que foram acidificadas para análise de metais.



Figura 15 – Incubadora de agitação orbital contendo as amostras em agitação para preparação do extrato lixiviado.

O extrato solubilizado foi preparado para a análise a fim de se verificar a solubilidade em água dos constituintes presentes nas amostras, classificando os resíduos em inerte ou não inerte, de acordo com a NBR 10004 (ABNT, 2004). A preparação seguiu a metodologia descrita na NBR 10006 (ABNT, 2004). Para tanto, foram pesadas 250g de cada amostra que foram adicionadas a 1L de água deionizada. Em seguida, as amostras foram agitadas em um agitador magnético durante cinco minutos e deixadas em repouso durante sete dias (Figura 16). O resíduo utilizado para preparar os extratos foi pesado em uma balança analítica de precisão com capacidade para 600 gramas. Após este período, o extrato solubilizado foi obtido por filtração a vácuo e em seguida foi medido o pH do filtrado obtido. Os extratos solubilizados foram preservados de acordo com os parâmetros a serem analisados. Foram separadas alíquotas que foram acidificadas para análise de metais. Os extratos lixiviado e solubilizado foram preparados em duplicata.



Figura 16– Amostras em repouso para preparação do extrato solubilizado dos RCC de Fortaleza-CE

4.3.2. Análises Químicas Realizadas

A análise da corrosividade foi realizada por meio da medição do pH de cada amostra misturada com água na proporção 1:1 em peso. Foram pesadas 40g de amostra diluídas em 40 mL de água destilada e depois foi medido o pH da mistura em um pHmetro digital de bancada Quimis®, modelo Q400AS. Foi verificado também se as amostras quando em contato com a água apresentavam instabilidade, ou seja, se reagem de forma violenta e/ou se geravam gases e vapores tóxicos.

Os parâmetros utilizados na análise de periculosidade e de solubilidade foram determinados de acordo com os Anexos F e G da NBR 10004 (ABNT, 2004), respectivamente. O Quadro 3 apresenta os parâmetros analíticos investigados nos testes de periculosidade e solubilidade realizados.

Quadro 3 - Parâmetros analisados para as análises de periculosidade e solubilidade

Análise	Parâmetros Analíticos
Periculosidade (NBR 10005)	Ag, As, Ba, Cd, Cr, Hg, Pb, Se, F ⁻
Solubilidade (NBR 10006)	Ag, As, Al, Ba, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Na, Pb, Se, Zn, Cl ⁻ , F ⁻ , NO ₃ ⁻ , SO ₄ ²⁻ , CN ⁻ , Fenol

Todos os parâmetros foram analisados de acordo com as metodologias descritas pela APHA (2005). Os elementos Cádmio (Cd), Chumbo (Pb), Cromo (Cr), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Sódio (Na) e Zinco (Zn) foram analisados por Espectrofotometria de absorção atômica ar-acetileno utilizando um espectrofotômetro GBC® Modelo 932AA no Laboratório de

Tecnologia Química do IFCE (LTQ). O método baseia-se na atomização do metal a ser analisado e na subsequente absorção de luz emitida por uma lâmpada de cátodo oco do metal em estudo. As concentrações são definidas a partir de curvas de calibração para cada componente.

O cloreto (Cl^-) foi analisado pelo método de Mohr (argentimétrico) no LTQ-IFCE, a partir da titulação do íon cloreto por uma solução de nitrato de prata, na presença de cromato de potássio, como indicador.

As análises de fenol, sulfato (SO_4^{2-}), e nitrato (NO_3^-) foram realizadas utilizando Espectrofotometria UV-Vis no Laboratório de Tecnologia Ambiental (LATAM) no IFCE. O fenol foi quantificado após reação com 4-aminoantipirina em pH 8 na presença de ferricianato de potássio, originando um pigmento colorido de antipirina. Este pigmento é extraído na fase aquosa do clorofórmio e a absorbância é medida em 460nm.

O Sulfato foi determinado por método turbidimétrico, no qual o íon sulfato é precipitado em meio ácido com cloreto de bário formando uma suspensão de cristais de sulfato de bário. A absorbância da suspensão é medida em 420nm e a concentração de sulfato determinada através de leitura em uma curva padrão.

O nitrato foi quantificado pelo método do salicilato que consiste na reação do nitrato, em condições ácidas, com salicilato de sódio formando um composto nitrobenzóico que na presença de tartarato de sódio forma uma coloração amarelada estável com absorbância em 420nm.

Os parâmetros de Arsênio (As), Mercúrio (Hg), Selênio (Se), Alumínio (Al), Prata (Ag), Bário (Ba), Cobre (Cu), Fluoreto (F^-) e Cianeto (CN^-) foram analisados no Laboratório Biológico, Análise Química e Microbiológica LTDA (análises particulares). Os parâmetros As, Hg e Se foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica ar-óxido nitroso e os parâmetros Al, Ag, Ba e Cu foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica ar-acetileno.

O Fluoreto foi determinado pelo método colorimétrico SPADNS que consiste na reação química do íon F^- com o complexo zircônio/SPADNS. A redução da intensidade de cor pela formação do complexo de ZnFe^{2+} é proporcional à quantidade de fluoreto presente a 570nm.

Para a determinação do cianeto foi utilizado o método colorimétrico em que a amostra é destilada em meio ácido para remoção de interferentes e transformação de todas as formas

presentes de cianeto em HCN, o que é absorvido em NaOH. O cianeto reage com Cloramina-T em pH inferior a 8 formando um composto que em presença de piridina e ácido barbitúrico adquire uma coloração vermelho-azulada que é medida por espectrofotometria UV-Vis a 578nm.

O quadro 4 apresenta os elementos analisados e suas respectivas metodologias, de acordo com o APHA (2005).

Quadro 4 – Métodos de Análises Químicas de acordo com APHA (2005).

Parâmetro (mg/L)		Método de Análise - APHA (2005)
Metais	As	3114-B
	Hg	3112-B
	Se	3114-B
	Al, Ag, Ba, Cd, Pb, Cu, Cr, Fe, Mn, Na, Zn	3111-B
Não metais	Cl ⁻	4500 Cl-B
	F ⁻	4500 F-D
	NO ₃ ⁻	4500 NO3-B
	Fenóis	5530C-D
	SO ₄ ²⁻	4500 SO4-E
	CN ⁻	4500 CN-E

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. Amostragem do RCC

As amostras 1 e 2 foram coletadas em uma área em recuperação (Terraplena), em Fortaleza, já as amostras 3 e 4 foram coletadas em uma usina particular de reciclagem (Usine). A Tabela 4 apresenta o peso seco em quilogramas do RCC coletado antes e depois de ser quarteado para obtenção do material para a determinação da composição gravimétrica.

Tabela 4 – Peso em quilogramas do RCC de Fortaleza-CE antes e após quarteamento

AMOSTRA	PESO INICIAL (kg) Antes do quarteamento	PESO FINAL (kg) Após o quarteamento (PTA)
1	217	108,81
2	289	143,5
3	298	149,1
4	270,8	136,4

Segundo Klee (1980), citado por Zeng *et al.* (2005), quando os pesos da amostra diminuem abaixo de aproximadamente de 91 kg, aumenta, rapidamente, a discrepância na amostra do resíduo sólido. Entretanto, para massas acima de aproximadamente 140 kg, a discrepância aumenta lentamente. Assim, recomenda-se uma massa de amostra entre 91 kg e 140 kg.

Esta recomendação é também adotada pela Associação Americana de Normas Técnicas (ASTM) (ZENG, 2005). A NBR 10007 (ABNT, 2004) cita apenas que sejam coletadas uma ou mais amostras e que estas estejam em quantidade representativa.

As amostras foram coletadas em dias e meses alternados, seguindo uma escala temporal para se obter uma maior proximidade da realidade.

5.2. Composição Gravimétrica e Classificação Segundo Resolução N° 307 (CONAMA, 2002).

A composição gravimétrica das amostras coletadas e a classificação segundo a Resolução N° 307 (CONAMA, 2002) estão apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5 – Percentual de Composição Gravimétrica (PGC) e Classificação dos RCC da cidade de Fortaleza

CLASSE		Amostra Resíduo	PCG (%)				
			1	2	3	4	Média
A		Argamassa	18,1	22,7	20,3	27	22
		Concreto	2,1	17,5	18,0	25	15,65
		Tijolo Branco	4,0	14,4	17,3	5,9	10,4
		Areia e Solo	51,8	18,0	15,1	13,7	24,65
		Cerâmica Vermelha	12,7	15,7	17,5	11,6	14,38
		Cerâmica de Revestimento	4,4	5,0	5,6	10,2	6,3
		Total	93,1	93,3	93,8	93,4	93,38
Contaminantes	B	Outros (Plástico, Papelão, Madeira, Vidro, Ferro)	2,0	1,4	1,2	1,0	1,4
		Gesso	4,9	5,1	5,0	4,9	5,0
		Total	6,9	6,5	6,2	5,9	6,4
	C	Espuma, Couro, Tecido	0,0	0,0	0,0	0,1	0,02
		Total	0,0	0,0	0,0	0,1	0,02
	D	Embalagem de tinta, solvente, amianto	0,0	0,2	0,0	0,6	0,2
		Total	0,0	0,2	0,0	0,6	0,2

A partir da Tabela 5, verifica-se que os resíduos de construção civil da cidade de Fortaleza são bastante heterogêneos. Entretanto, em todas as amostras de RCC coletadas, o resíduo Classe A, é o que possui maior participação na composição gravimétrica, com percentuais entre 93,1% e 93,8%.

A argamassa foi o material que apresentou o maior percentual em três das quatro amostras coletadas em Fortaleza-CE, variando entre 18,1% e 27%. Oliveira *et al.* (2011) obteve resultado semelhante para esta mesma cidade, sendo 38% de argamassa na massa de RCC. A argamassa é bastante utilizada como reboco e assentamento de pisos e azulejos, e de acordo com Ramos (2007), é um material bastante desperdiçado em obras civis, sendo o segundo material que mais contribuiu para o RCC da cidade de Vitória-ES, com uma média de 18%.

O concreto é originado de lajes, pilares e vigas, geralmente resultado de demolição. A amostra 1 (2,1%) apresentou uma discrepância em relação às demais amostras que variaram entre 17,5% e 24,9%. O mesmo ocorreu com o tijolo branco que resultou em uma amostragem de 4% na amostra 1, enquanto que as demais amostras (2, 3 e 4) apresentaram

resultados de 14,4%, 17,3% e 5,9% respectivamente. Uma explicação possível para esta discrepância é que no mês de janeiro, esta área recebeu mais resíduos provenientes de escavação do que de demolição.

Para Oliveira (2011), o concreto é o segundo material que mais contribui para o RCC, com uma média de 14%. Em Vitória-ES, Ramos (2007) relata que são poucas as ocorrências de demolições de estruturas de concreto, o que influencia na pequena quantidade de concreto (9,61% do total de RCC).

O grupo areia e solo obteve percentual entre 13,7% e 51,8%, uma alta variação, que se deve ao fato da amostra 1 possuir um alto percentual de areia e pedregulho (51,8%) quando comparada às demais amostras. A grande quantidade de areia e pedregulho na amostra 1 pode ter ocorrido pelo fato de que no mês de janeiro estava ocorrendo escavações referentes à construção de um centro de convenções e túneis em Fortaleza, o que ocorreu com menor intensidade nos meses subsequentes. Em Salvador-BA, de acordo com estudos realizados por Cassa *et al.* (2001), o percentual médio de areia e solo é de 22%. Por outro lado, em Vitória-ES, é o constituinte que mais prevalece no RCC (RAMOS, 2007).

O grupo cerâmica vermelha apresentou pouca variação entre as amostras (11,6% a 17,5%), o mesmo ocorrendo com a cerâmica de revestimento, com variação entre 4,4% e 10,2%. A cerâmica vermelha é o constituinte de tijolos e telhas, sendo um material bastante comum na construção das edificações. Durante o processo construtivo é comum o desperdício desse material, por este motivo a presença constante da cerâmica vermelha em todas as amostras. A cerâmica de revestimento, muito utilizada em pisos, paredes e produção de louças, como pias e vasos sanitários, só é descartada caso seja danificada ou em demolições, sendo um material de menor porcentagem na geração de RCC.

Os materiais Classe B são materiais recicláveis com outras destinações que não a fabricação de agregados reciclados. Os materiais Classe B apresentaram um percentual entre 5,9% e 6,9%, resultado próximo ao obtido por Ramos (2007) para a cidade de Vitória-ES, em que os resíduos classe B variaram entre 4,8% e 13,%.

O grupo “Outros” dos resíduos Classe B, constituído de plástico, madeira, papelão, vidro e metais, apresentou resultados percentuais semelhantes em todas as amostras, variando de 1,2% a 2,0% do total do RCC. Estes resíduos são encontrados em menor quantidade já que, em Fortaleza, as empresas geradoras de resíduos de construção civil são obrigadas a executar um plano de gerenciamento e a segregar este resíduo de acordo com a Resolução CONAMA

307/2002. Ocorre também destes resíduos serem recolhidos por catadores, que vendem este tipo de material para empresas de reciclagem, antes de serem recolhidos para a destinação final. Além do que o Terraplena era um aterro de inertes, portanto, este tipo de resíduo não deveria ser encontrado neste local.

A presença de gesso nas amostras de RCC de Fortaleza se mostrou praticamente constante com percentuais entre 4,9% e 5,1%. O gesso é um material bastante utilizado no revestimento de paredes, tetos, rodapés e molduras. Muitos edifícios atualmente possuem paredes inteiras revestidas de gesso, o que diminui os custos, mas aumenta a geração desse resíduo. Embora, o gesso seja considerado material reciclável, ainda não há uma política de aproveitamento deste resíduo em Fortaleza e infelizmente, o gesso tem como destino final os aterros (sanitários ou clandestinos). O gesso possui em sua composição principal o sulfato de cálcio duplamente hidratado (JOHN e CINCOTTO, 2007), substância expansiva que pode contaminar o RCC tornando-o inviável para reciclagem.

Os materiais pertencentes à Classe C, de acordo com a Resolução Nº 307/2002 são aqueles que não possuem tecnologia ou são inviáveis, em termos técnicos, para a reutilização ou reciclagem. Das quatro amostras coletadas, apenas na amostra 4 foi identificado material como espuma, couro e tecido, com uma porcentagem mínima de 0,09%. Este tipo de material é geralmente utilizado em EPIs (equipamentos de proteção individual) como luvas e roupas, além de componente em rolos de pintura. São materiais que geralmente são descartados em lixo comum. Em 25% das amostras coletadas em Vitória-ES por Ramos (2007), o material pertencente à Classe C aparece como o menos gerado, com percentuais que variam entre 0,12% a 2,37%, sendo estes mais elevados do que os observados em Fortaleza-CE.

Embalagens de tinta, solventes e amianto são materiais pertencentes à Classe D (resíduos perigosos), de acordo com a Resolução Nº 307 (CONAMA, 2002), portanto, não deveriam estar presentes em aterros e usinas de reciclagem de RCC. As amostras 2 e 4 apresentaram percentuais de 0,2% e 0,6%, respectivamente, destes materiais. A quantidade observada é pequena quando comparada ao total de RCC nos locais de disposição final, entretanto, mesmo presente em pequena escala, este material tem alto potencial de contaminação para o meio ambiente e para a saúde pública. Os resíduos Classe D, necessitam de critérios para o seu gerenciamento e devem ser depositados em locais destinados a resíduos perigosos.

A Figura 17 apresenta a composição gravimétrica média dos resíduos da cidade de Fortaleza.

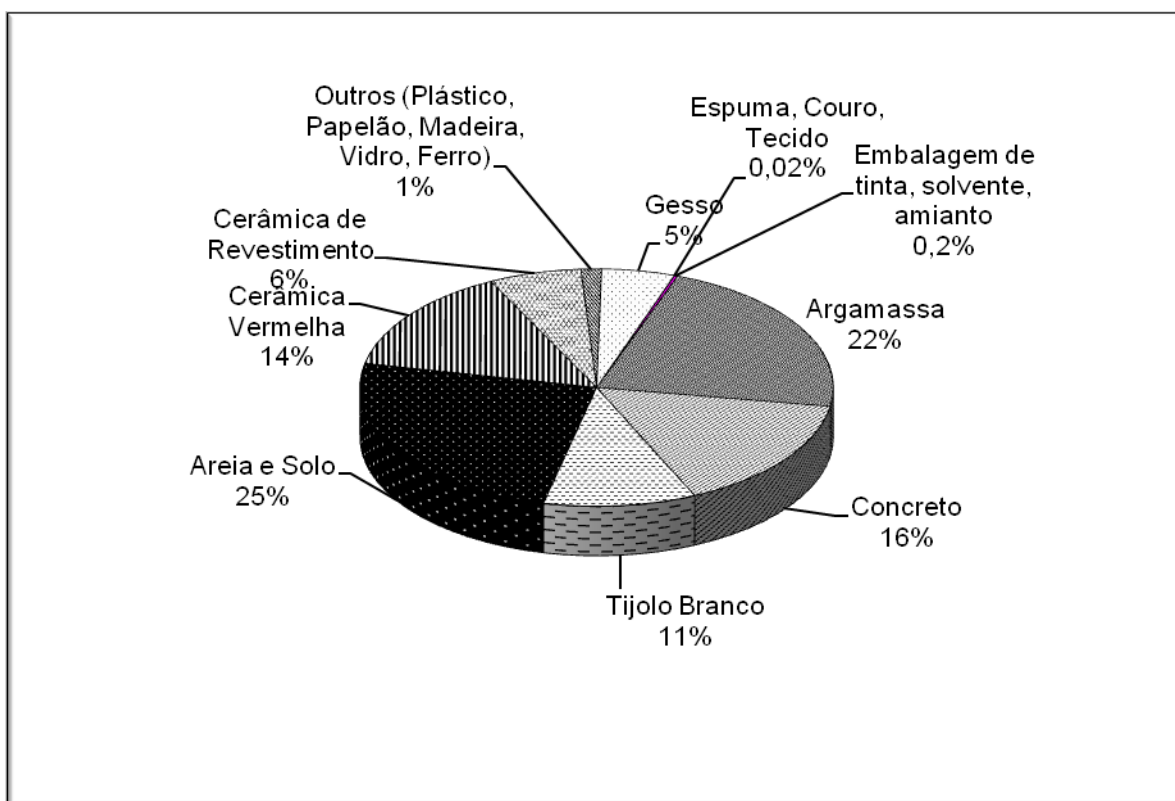


Figura 17 – Composição Gravimétrica média do RCC da cidade de Fortaleza.

Verifica-se que argamassa, concreto, cerâmica vermelha, areia e solo somam uma porcentagem de 76,7%. Estes materiais, após um processo de britagem, podem produzir agregados com alto potencial para utilização na construção civil (CASSA *et al.*, 2001). Exemplificando, Assunção *et al.* (2007) comprovou que argamassas produzidas com 50% de agregado reciclado apresentam um bom desempenho. Cabral (2007) verificou que é possível a utilização de agregado reciclado na produção de concreto, mesmo considerando sua variabilidade. Lima (2008) concluiu que o uso de agregado reciclado de RCC da cidade de Fortaleza é viável tecnicamente para o uso em pavimentação. Além disso, outros estudos comprovam que o gesso pode ser reaproveitado para moldagem (HARADA e PIMENTEL, 2009) e correção de solo (BARROS *et al.*, 2009).

A Tabela 6 apresenta as médias aritméticas, o desvio-padrão, o coeficiente de variação e a mediana das composições gravimétricas do RCC de Fortaleza.

Tabela 6 – Análise estatística da composição gravimétrica do RCC da cidade de Fortaleza

CLASSE	Amostra	Média Aritmética	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação	Mediana
A	Argamassa	22,03%	3,81%	17,3%	21,5%
	Concreto	15,63%	9,63%	61,6%	17,75%
	Tijolo Branco	10,43%	6,45%	61,84%	10,15%
	Areia e solo	24,65%	18,19%	73,79%	16,55%
	Cerâmica Vermelha	14,38%	2,71%	18,84%	14,2%
	Cerâmica de Revestimento	6,3%	2,65%	42%	5,3%
B	Outros (Plástico, Papelão, Madeira, Vidro, Ferro)	1,4%	0,43%	30,86%	1,30%
	Gesso	5,0%	0,10%	1,91%	4,95%
C	Espuma, Couro, Tecido	0,02%	0,05%	225%	0
D	Embalagem de tinta, solvente, amianto	0,2%	0,28%	141,42%	0,1%

Segundo GUEDES (2006) coeficientes de variação superiores a 50% sugerem alta dispersão, o que indica heterogeneidade dos dados, não sendo representativa a média, e nesses casos, deve ser utilizado a mediana. De acordo com a Tabela 6, os materiais concreto, tijolo branco e areia e solo apresentaram coeficientes de variação de 61,6%, 61,84% e 73,79%, respectivamente. Os dados de outros resíduos que apresentaram altíssimo coeficiente de variação foram espuma, couro e tecido (225%) e embalagens de tinta, solventes e amianto (141,42%), e, portanto, a mediana é adotada como estatística mais representativa (GUEDES, 2006). Os demais grupos de materiais apresentaram coeficiente de variação menor que 50%, portanto, as médias desses grupos representam de forma confiável os valores de composição dos materiais nas amostras do RCC de Fortaleza-CE.

Dessa forma, a figura 18 mostra a composição gravimétrica média, dividida por classes de acordo com a Resolução CONAMA N° 307/2002, utilizando valores de média aritmética para Classes A e B e mediana para Classes C e D. Observa-se que para os resíduos da Classe C, a mediana é nula.

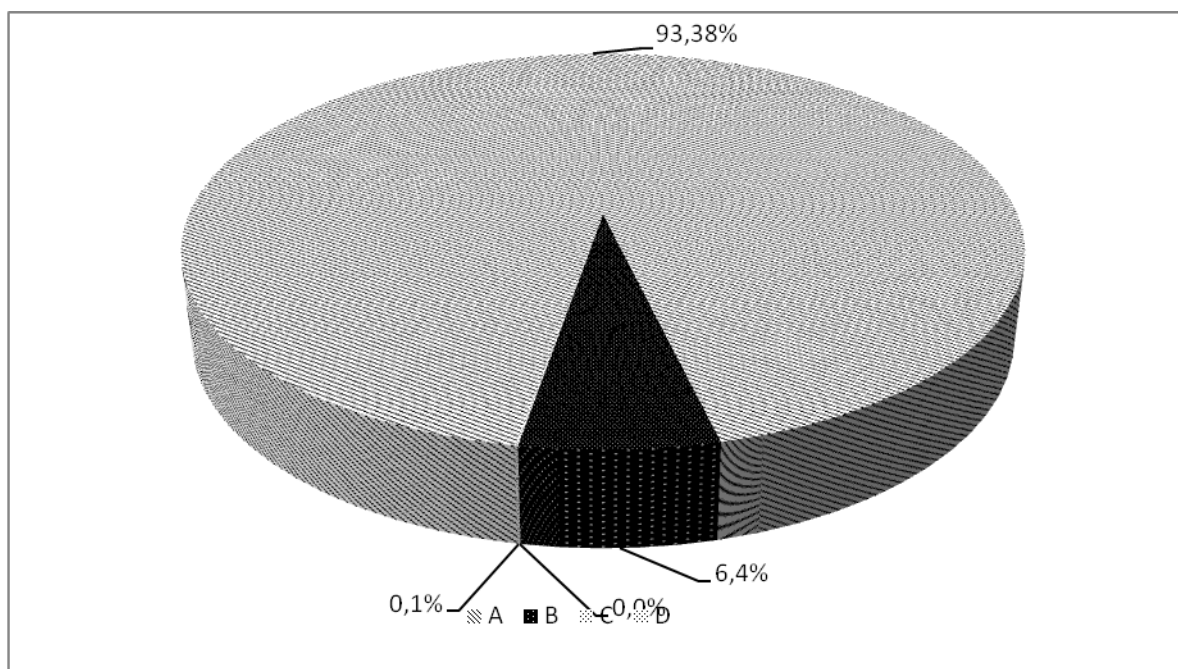


Figura 18 – Composição gravimétrica por Classes de acordo com a Resolução N° 307 (CONAMA, 2002)

Conforme a Figura 18, o RCC de Fortaleza é constituído em média de 93,4% de materiais Classe A, 6,4% de materiais Classe B, não apresentou percentual significativo para a Classe C e 0,1% de materiais pertencentes a Classe D. Estudos realizados por Bernades *et al.*, (2008) na cidade de Passo Fundo-RS, mostraram que os resíduos Classe A equivalem a 94,1% do RCC 3,1% da Classe B, 2,4% da Classe C e não apresentaram resultados para a Classe D. Em Petrolina-PE, Santos (2008) obteve resultados em que 91,2% do RCC disposto irregularmente pertence a Classe A, 2,5% a Classe B e 6,4% a Classe C. Os resultados de Bernades *et al.*, (2008) e Santos (2008) são compatíveis com os obtidos na cidade de Fortaleza, embora haja pequenas divergências entre os resíduos classe B e Classe C. Isto ocorre porque quando o RCC nas cidades de Passo Fundo-RS e Petrolina-PE foram classificados, o gesso era anteriormente Classe C, fazendo com que o percentual desta classe fossem maior que o encontrado atualmente.

5.3. Classificação Química Segundo a NBR 10004 (ABNT, 2004)

Os resultados das análises dos aspectos de corrosividade, reatividade, periculosidade e solubilidade segundo a NBR 10004 (ABNT, 2004) são apresentados a seguir. A análise destes aspectos relaciona-se apenas ao RCC Classe A de Fortaleza.

5.3.1. Análise de Reatividade e Corrosividade

Em laboratório, foi verificado que todas as amostras não apresentaram reações quando em contato com a água e ausência de geração de gases e vapores tóxicos quando misturadas com esse solvente. Estes resultados indicam que as amostras de RCC Classe A de Fortaleza são caracterizadas como não reativas. Ramos (2007) avaliou doze amostras de RCC da cidade de Vitória e concluiu que o resíduo também apresenta características não reativas.

Os resultados de corrosividade obtidos nas quatro amostras analisadas são apresentados na Tabela 7. O intervalo compreendido entre os pH 2 e 12,5 indica os limites nos quais o resíduo é caracterizado como sendo não corrosivo, conforme a NBR 10004 (ABNT, 2004). Nesta tabela, verifica-se que as amostras de RCC Classe A apresentaram pH variando entre 8,03 (amostra 2) e 11,31 (amostra 4), sendo consideradas alcalinos ($\text{pH} > 7$). Os resultados estão dentro do limite de pH segundo a NBR 10004 (ABNT, 2004), e são semelhantes aos obtidos por Ramos (2007) que verificou através do pH que o RCC de Vitória não é corrosivo. Santos (2007) também obteve pH alcalino em amostras de RCC da cidade de São Carlos.

Tabela 7 - pH das amostras de RCC de Fortaleza

Amostra	pH	Limites do pH (NBR 10004)
1	9,97	Entre 2 e 12,5
2	8,03	
3	10,77	
4	11,31	

Santos (2007) atribui o pH alcalino do RCC à presença de cimento e cal. Isto é coerente pois, segundo Batista Filho (2001), o concreto possui alta alcalinidade devido a presença de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ liberado das reações de hidratação do cimento. O pH alcalino também pode ser atribuído à presença de Silicato de Sódio Alcalino ($\text{SiO}_2\text{-Na}_2\text{O}$), produto bastante utilizado para cura do concreto (UNAPROSIL, 2012)

Ramalho e Pires (2009) sugerem que o RCC reciclado possui potencial para agir como condicionante de solo devido ao seu pH alcalino. Lasso (2011) testou a utilização de RCC reciclado como corretivo de acidez do solo e verificaram que o RCC reciclado cinza

(concretos e argamassas) possui muito calcário que corrige o pH do solo e que o RCC reciclado vermelho (tijolos e cerâmicas) facilita a retenção de água.

5.3.2. Análise de Periculosidade

Os resultados das concentrações dos constituintes e do pH nas amostras do extrato lixiviado para análise de periculosidade após filtração estão apresentados na Tabela 8. Esta Tabela mostra ainda o limite máximo permitido de cada constituinte no extrato lixiviado, de acordo com o anexo F da NBR 10004 (ABNT, 2004).

O pH das amostras 1 e 2 foram levemente alcalinos enquanto que o pH das amostras 3 e 4 se apresentaram levemente ácidos. Segundo Schaefer *et al.* (2007), um fator que pode contribuir para alcalinidade do extrato lixiviado é o volume de água limitado, pois no meio ambiente, as condições diferem das propostas no ensaio, uma vez que o volume de água é ilimitado, induzido a diferentes condições de lixiviação. Para análise de metais, as amostras foram acidificadas, uma vez que ambientes ácidos favorecem a mobilidade de metais pesados, pois estes se tornam mais solúveis (FERREIRA, 2010).

Tabela 8 – Resultado da análise de periculosidade nas amostras de RCC de Fortaleza pelo extrato lixiviado.

Parâmetros	EXTRATO LIXIVIADO (mg/L)				Limite máximo do extrato (mg/L)
	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	
pH	7,19	7,69	5,53	6,08	
Arsênio (As)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	1,0
Bário (Ba)	0,14	<0,01	0,29	0,06	70,0
Cádmio (Cd)	0,178	0,096	0,150	0,095	0,5
Chumbo (Pb)	0,167	0,172	0,110	0,235	1,0
Cromo (Cr)	0,024	0,130	0,051	0,103	5,0
Mercúrio (Hg)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,1
Prata (Ag)	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	5,0
Selênio (Se)	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	1,0
Fluoreto (F⁻)	0,77	0,73	0,73	0,95	150,0

Os resultados apresentados na tabela 8 demonstram que apesar de todos os componentes analisados serem lixiviados quando em condições de chuva ácida, nenhum parâmetro analisado nos extratos lixiviado das amostras de RCC de Fortaleza apresentou concentrações superiores aos limites máximos estabelecidos pela NBR 10004 (ABNT, 2004).

Verifica-se ainda que alguns parâmetros como arsênio, mercúrio, prata e selênio apresentaram concentrações ínfimas quando comparadas ao limite máximo.

Torgerö (2004) demonstrou que o chumbo é lixiviado pela chuva e que metais pesados de concretos contendo aditivos e adições também podem ser rapidamente lixiviados. Pode-se observar na Tabela 8 que houve lixiviação de chumbo nas amostras testadas, entretanto, este não alcançou valores superiores ao limite máximo.

Schaefer *et al.* (2007) obteve resultados semelhantes quando analisou extratos lixiviados de argamassa produzida com agregado reciclado provenientes de RCC e verificou que metais pesados como arsênio, cádmio, cromo e selênio são lixiviados das argamassas produzidas, entretanto nenhum parâmetro ultrapassa os limites recomendados pela NBR 10004 (ABNT, 2004). Porém o autor ressaltou que os mesmos resultados quando foram comparados aos limites da diretiva europeia 98/93/EC, apresentaram-se superiores aos recomendados.

Asakura *et al.* (2010) caracterizou os resíduos de construção civil processados do Japão e verificou que concentrações lixiviadas de cromo, fluoreto e chumbo excederam os limites permitidos pela *Soil Contamination Countermeasures Act* (SCCA). O autor desconhece a origem dos metais pesados, mas cita que Watanabe *et al.* (2003) relatou que resíduos de madeira provenientes de RCC contém alguns metais pesados como conservante de pinturas. Vale ressaltar que este tipo de resíduo é bastante utilizado em construções no Japão, sendo responsável por 6% de todo o resíduo de RCC gerado naquele país (JAPAN ML, 2006 citado por ASAKURA *et al.*, 2010). Este conservante também pode estar presente em pinturas de argamassas e concreto, sendo uma provável origem para a presença de metais pesados nas amostras de extrato lixiviado analisadas.

Os limites máximos permitidos pela diretiva europeia 98/93/EC e pela SCCA no Japão são bem inferiores quando comparados aos limites permitidos pela NBR 10004 (ABNT, 2004). Por exemplo, o limite de cromo lixiviado na diretiva europeia 98/93/EC e na SCCA é de 0,05mg/L e na NBR 10004 o valor máximo é de 5,0 mg/L. Se fosse levado em consideração os limites europeu e japonês, três amostras de extrato lixiviado do RCC Classe A de Fortaleza estariam contaminadas com cromo. O mesmo ocorreria com a análise de cádmio, onde as quatro amostras analisadas estão acima do limite máximo europeu (0,005mg/L) e da SCCA (0,01mg/L).

Ramos (2007) em seu trabalho sobre indicadores de qualidade analisou doze amostras de RCC da cidade de Vitória e concluiu que em 100% das amostras o RCC foi classificado como não tóxico de acordo com a NBR 10004. Cassa *et al.* (2001) após avaliação de periculosidade em agregados reciclados graúdo e miúdo constatou que estes agregados produzidos na cidade de Salvador também devem ser classificados como não tóxico.

Em geral, os resultados mostram que apesar de o RCC Classe A de Fortaleza, a partir das amostras analisadas, ser classificado como não tóxico, há a presença de metais pesados que podem vir a contaminar o meio ambiente e serem prejudiciais à saúde humana.

4.3.3. Análise de Solubilidade

As amostra 1 e 2 foram coletadas nos meses de janeiro e abril, respectivamente. Esses meses são referentes a períodos chuvosos na cidade de Fortaleza, portanto, o material coletado apresentava umidade. O teor de umidade da amostra 1 foi 7,83% e da amostra 2 foi 9,56%. O teor de umidade não foi determinado para as amostras 3 e 4, estas foram coletadas nos meses de julho e setembro, respectivamente. Em geral, não é comum chuvas durante este período, por isso, o resíduo apresentava-se seco.

Os resultados da análise de solubilidade em água de acordo com a NBR 10004 (ABNT, 2004) e o pH das amostras estão dispostos na Tabela 9. Esta Tabela, apresenta também o limite máximo permitido de acordo com o Anexo G da NBR 10004 (ABNT, 2004). De acordo com Ramos (2007), a solubilização simula o desprendimento de constituintes numa situação de chuva não ácida. As análises dos parâmetros relacionados na Tabela 9 indicam a possibilidade de desprendimento destes constituintes em ambiente natural, podendo ocasionar a contaminação do solo ou de recursos hídricos.

Tabela 9 – Resultado da Análise de solubilidade nas amostras de RCC de Fortaleza.

Parâmetros	EXTRATO SOLUBILIZADO (mg/L)				Limite máximo do Extrato (mg/L)
	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	
pH	9,92	8,31	9,25	10,33	
Alumínio	<0,01	<0,01	0,07	0,31	0,2
Arsênio	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,01
Bário	0,06	<0,01	<0,01	<0,01	0,7
Cádmio	0,103	0,112	0,051	0,080	0,005
Chumbo	0,121	0,139	0,090	0,080	0,01
Cobre	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	2,0
Cromo	0,116	0,086	0,198	0,260	0,05
Ferro	0,123	0,112	0,053	0,104	0,3
Manganês	0,001	0,062	0,060	0,02	0,1
Mercúrio	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,001
Prata	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,05
Selênio	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01
Sódio	43,57	36,48	22,41	22,29	200,0
Zinco	0,163	0,123	ND	ND	5,0
Nitrato	4,66	2,54	3,17	7,53	10,0
Fenóis totais	0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,01
Sulfato	198,46	328,84	285,54	292,01	250,0
Cloreto	56,6	20,0	53,0	39,5	250,0
Fluoreto	0,7	0,96	0,84	0,99	1,5
Cianeto	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,07

*ND – Não detectado

Verifica-se que nas quatro amostras analisadas foram encontrados parâmetros inorgânicos (alumínio, cádmio, chumbo, cromo e sulfato) acima do limite permitido pela NBR 10004 (ABNT, 2004). Os extratos solubilizados de todas as amostras de RCC Classe A de Fortaleza apresentaram concentrações dos parâmetros arsênio, bário, cobre, ferro, manganês, mercúrio, prata, selênio, sódio, zinco, nitrato, fenóis, cloreto, fluoretos e cianetos abaixo dos limites máximos permitidos pela NBR 10004 (ABNT, 2004).

Na amostra 4 o alumínio foi encontrado na concentração de 0,31mg/L. Este resultado está acima do limite máximo que é de 0,2mg/L. Nas demais amostras o alumínio se solubilizou em quantidade inferior ao limite máximo permitido.

Análises em RCC reciclado na cidade de Piracicaba realizadas por Silva e Arnosti Jr. (2006) constaram a presença de teor de alumínio acima do limite máximo permitido pela NBR 10004. Ramos (2007) também constatou a presença de alto teor de alumínio em uma de suas amostras de RCC da cidade de Vitória-ES. A argamassa e o concreto são constituídos de cimento, na composição gravimétrica aproximadamente 37% do RCC é concreto e argamassa,

portanto, o alto teor de alumínio pode ser justificado pela presença destes componentes no resíduo de construção civil de Fortaleza.

Cassa *et al.* (2001) explica que a presença de altos teores de alumínio em RCC pode ser devido a presença de concreto de cimento aluminoso, entretanto, este tipo de cimento não é comum no Brasil. O cimento mais utilizado é o portland composto (CPII) que, de acordo com Silva (2007), contém em sua composição óxido de Alumínio (Al_2O_3).

Ulsen *et al.* (2010) verificou em agregados mistos de RCC da cidade de São Paulo que a quantidade de óxido de alumínio ou alumina (Al_2O_3) variou entre 4,7% e 11% e concluiu que o composto estava relacionado a presença principalmente de cerâmica vermelha e cimento. É possível que a alta concentração de alumínio no RCC de Fortaleza seja proveniente do óxido de alumínio presente em cimentos portland. Altas quantidades de alumínio podem contaminar a água oferecendo riscos à saúde humana.

As quatro amostras de extrato solubilizado apresentaram concentrações de cádmio acima do limite permitido. Nas amostras 1 e 2, a concentração de cádmio foi aproximadamente 20 vezes maior que o limite máximo permitido pela NBR 10004. Enquanto que nas amostras 3 e 4 os valores encontrados, foram um pouco menores em relação às amostras 1 e 2, mas ainda bastante elevadas, pois tais amostras foram entre 10 e 15 vezes mais concentradas que o permitido pela NBR 10004. O cádmio é utilizado como conservante de tinta de parede, e provavelmente a sua alta concentração deve-se ao fato de muitos dos resíduos coletados serem provenientes de demolições contendo resíduos de tinta em sua composição.

Outros parâmetros que apresentaram concentrações acima do limite máximo foram o chumbo e o cromo. As amostras 1 e 2 apresentaram concentrações de chumbo da ordem de 0,121mg/L e 0,139mg/L, respectivamente. Nas amostras 3 e 4, as concentrações foram de 0,090mg/L e 0,080mg/L. Esses valores são altíssimos quando comparado ao limite máximo da NBR 10004 para solubilização do componente chumbo. As concentrações de cromo nas amostras 1 (0,116mg/L) e 2 (0,086mg/L) foram menores em relação as amostras 3 (0,198mg/L) e 4 (0,260mg/L), mas em todos os casos, as concentrações encontradas estavam de 2 a 4 vezes acima do limite máximo permitido pela NBR 10004 (ABNT, 10004).

As altas concentrações de chumbo e cromo podem ser explicadas pela quantidade de RCC originado de demolições, pois estes resíduos contêm tintas, vernizes e outros materiais para acabamento que possuem chumbo e cromo em sua composição (SILVA e ARNOSTI Jr.,

2006). O chumbo e o cromo têm sua utilização em tintas regulamentada, e a tinta é classificada pela NBR 10004 (ABNT, 20004) como resíduo perigoso. Os resíduos de tinta contaminam o RCC e consequentemente o local onde o RCC é depositado, aumentando o risco de contaminação de mananciais e contaminando o solo.

As concentrações de sulfato ficaram acima do limite máximo em três das quatro amostras de extrato solubilizado. Apenas na amostra 1, a concentração de sulfato se mostrou dentro do limite estabelecido pela NBR 10004, embora sua concentração de 198,46 mg/L tenha se aproximado do limite máximo (250mg/L). Asakura *et al.* (2010) verificou que em resíduos de construção civil mistos no Japão é alta a concentração de Sulfato (1100mg/L) e atribui este valor à presença de gesso no RCC.

Segundo Ramos (2007), no material pertencente ao grupo solo e areia, é comum a presença de partículas de gesso que são difíceis de identificar e retirar manualmente. Para fabricação de gesso é utilizado como matéria-prima um mineral denominado gipsita, composto basicamente de sulfato de cálcio hidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) (JOHN e CINCOTTO, 2007), portanto, a alta concentração de sulfato pode indicar a presença de gesso no RCC Classe A de Fortaleza. Esta suposição pode ser confirmada, haja vista, que foi encontrado gesso na composição do RCC de Fortaleza e Oliveira *et al.* (2011) também constatou a presença de gesso no RCC da cidade. Segundo Cassa *et al.* (2001) a presença desse material pode provocar fenômenos expansivos em materiais confeccionados com cimento, diminuindo a resistência do concreto e argamassa, entre outros materiais que utilize RCC como agregado. Além disso, o sulfato associado ao cálcio presente no gesso pode causar a dureza permanente da água.

De acordo com a NBR 10004, valores acima do limite máximo permitido para os parâmetros descritos na tabela 9 classificam o resíduo como sendo não inerte. No RCC de Fortaleza, cinco parâmetros apresentaram concentrações acima do limite máximo permitido. Portanto, baseado nos resultados anteriormente descritos verifica-se que de acordo com a classificação da NBR 10004, o RCC Classe A de Fortaleza deve ser classificado como Classe II-A, ou seja, não perigoso e não inerte. Este resultado contrasta com o usualmente utilizado, pois os resíduos de construção civil são, geralmente, classificados como Classe II –B, ou seja, não perigoso e inerte.

Entretanto, Silva e Arnosti Jr. (2006) relataram que o RCC reciclado de Piracicaba-SP apresentou também concentrações de chumbo, cromo, alumínio e sulfato superiores à permitida, sendo igualmente classificados como sendo Classe II-A. Ramos (2007) também

classificou o RCC de Vitória-ES como sendo Classe II-A, visto que, em suas análises foi verificada concentrações de alumínio, nitrato e sulfato acima do limite máximo permitido. Oliveira (2002) verificou que os resíduos de concretos quando submetidos ao ataque de chuva ácida liberam compostos formados por sulfato, cádmio, manganês, ferro, alumínio, entre outros que contribuem para alteração das condições das águas naturais, devendo estes, serem classificados como não inertes.

Grubba e Parreira (2009) classificaram o agregado reciclado de concreto como sendo Classe II-A, pois em seus estudos, verificaram altas concentrações de alumínio e fenol. Resultado semelhante foi obtido por Fernandes (2004) em estudos em agregado de RCC misto.

A utilização de RCC reciclado contaminado pode apresentar consequências ambientais negativas, principalmente na liberação de íons lixiviados e solubilizados pertencente ao RCC, podendo contaminar o solo e os aquíferos (SILVA e ARNOSTI Jr., 2006). Fernandes (2004) cita que estes resultados não inviabilizam o uso de RCC reciclado, entretanto, é necessário que haja uma atenção especial a sua utilização, devendo ser realizados ensaios de forma sistemática e freqüente (SILVA e ARNOSTI Jr., 2006).

Os resultados obtidos nos ensaios de solubilização, em que alguns parâmetros de metais pesados como Cádmio, Chumbo e Cromo e o composto sulfato, extrapolam os limites máximos permitidos, inferem sob a possibilidade de contaminação do solo e das águas superficiais e subterrâneas, comprovando a necessidade de ensaios sistemáticos e frequentes do RCC reciclado, de modo a garantir o uso seguro em relação ao potencial risco ao meio ambiente.

6. CONCLUSÕES

Com base nos estudos realizados com RCC da cidade de Fortaleza chegaram-se as seguintes conclusões:

- O RCC de Fortaleza é composto em média de 24,6% de areia e solo, 22% de argamassa, 15,6% de concreto, 14,3% de cerâmica vermelha, 10,4% de tijolo branco, 6,3% de cerâmica de revestimento, 5% de gesso, 1,4% de outros (plástico, papelão, madeira, vidro e ferro), 0,02% de espuma, couro e tecido e 0,2% embalagens de tinta, solvente e amianto.
- Os resíduos de construção civil de Fortaleza são constituído, em media, de 93,38% de resíduos Classe A, 6,4% Classe B, 0,02% Classe C e 0,2% Classe D, conforme classificação da Resolução N° 307 (CONAMA, 2002),
- De acordo com as análises químicas, o RCC Classe A de Fortaleza não é reativo, possui pH alcalino, porém, dentro dos padrões que o classificam como não corrosivo, segundo a NBR 10004 (ABNT, 2004).
- Análises do extrato lixiviado mostraram que nenhum parâmetro ultrapassou os limites máximos permitidos pela NBR 10004 (ABNT, 2004). Entretanto, o mesmo não ocorreu para o extrato solubilizado que apresentou parâmetros como alumínio (Al), cádmio (Cd), chumbo (Pb), cromo (Cr) e sulfato (SO_4^{2-}) acima dos limites máximos permitidos pela NBR 10004 (ABNT, 2004).
- Os resultados de análise de periculosidade e solubilidade mostraram que o RCC Classe A de Fortaleza não é tóxico, porém não é inerte, ou seja, deve-se classificá-lo como Classe II-A – Não perigoso e não inerte, de acordo com a NBR 10004 (ABNT, 2004).

7. SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

- Fazer um levantamento da geração de resíduos de construção civil por bairros e/ou regiões da cidade de Fortaleza-CE, identificando origem, quantidade, tipo de resíduo gerado, destinação final e tratamento, traçando um comparativo entre os bairros e/ou regiões.
- Análise qualitativa para identificar a origem dos resíduos, se este é proveniente de demolição ou de perdas físicas em obras de construção civil.
- Avaliar separadamente extratos lixiviados e solubilizados dos seguintes resíduos: concreto, argamassa, cerâmica vermelha, cerâmica polida e reboco com pintura, de maneira que seja possível identificar se os contaminantes aqui encontrados provêm destes resíduos.
- Identificar a presença de parâmetros orgânicos e parâmetros voláteis em resíduos Classe A e classificá-los de acordo com a NBR 10004 (ABNT, 2004).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRELPE, Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2010**. São Paulo: ABRELPE, 2011.

ÂNGULO, S. C.; JOHN, M.V. ULSEN, C.; KAHN, H. Caracterização de agregados de resíduos de construção civil reciclados separados por líquidos densos. In: I CONFERÊNCIA LATINO AMERICANA DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL. **Anais**. São Paulo, 13p. 2004.

ÂNGULO, S.C. **Caracterização de agregados de resíduos de construção civil reciclados e a influência de suas características no comportamento mecânico de concreto**. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo, 167p. 2005.

ÂNGULO, S.C. **Variabilidade de agregados graúdos de resíduos de construção e demolição reciclados**. Dissertação (Mestrado) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 155p. 2000.

ÂNGULO, S.C.; JOHN, V. **Requisitos para execução de aterros de resíduos de construção civil**. São Paulo: EPUSP, 14p. 2006.

ÂNGULO, S.C.; ZORDAN, S.E.; JOHN, V.M. **Desenvolvimento sustentável e a reciclagem de resíduos na construção civil**. 2001. 13p. Disponível em <www.reciclagem.pcc.usp.br>. Acesso em 09/12/2011.

APHA, American Public Health Association. **Standard methods for the examination of water & wastewater**. Washington. 21st edition. 1368p. 2005.

ASAKURA, H.; WATANABE, Y.; YAMADA, M. ONO, Y.; ALFARO, A.M.; INOUE, Y. Characteristics of fine processed construction and demolition waste in Japan and method to obtain fines having low gypsum component and wood contents. **Waste Management & Research**. v.28. p. 634-646, 2010.

ASAKURA, H.; YUZO YNOUE, M.Y.; YUZAKU ONO, Y.W. Investigation on the components removed in loss on ignition test of sandy crushed construction and demolition waste. **Waste Management & Research**. v.28. p. 11-19, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10.004: Resíduos Sólidos - Classificação**. Rio de Janeiro, 2004. 71p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10.005: Procedimento para a obtenção de extrato lixiviado de resíduos**. Rio de Janeiro, 2004. 20p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10.006: Procedimento para a obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro, 2004. 7p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10.007: Amostragem de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro, 2004. 25p.

ASSUNÇÃO, L.T.; CARVALHO, G.F.; BARATA, M.S. Avaliação das propriedades das argamassas de revestimentos produzidas com resíduos da construção e de demolição como agregado. **Exacta**, v.5 n.2, p. 223-230, 2007.

AZEVEDO, G.O.D.; KIRPESTOK, A.; MORAES, L.R.S. Resíduos da construção civil em Salvador: Os caminhos para uma gestão sustentável. **Engenharia sanitária ambiental**. v.11 n.1, p. 65-72, 2006.

BARROS, M.F.C.; BEBÉ, F.V.; SANTOS, T.O. Influência da aplicação de gesso para correção de um solo salino-sódico cultivado com feijão caupi. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, João Pessoa, v.9, n.1, p.1-6. 2009.

BATISTA FILHO, J. O pH e a corrosão do concreto armado. **Revista Recuperar**. Minas Gerais, 20p. 2001.

BELINE, E. L. **Impactos ambientais causados pela deposição de resíduos de construção civil no município de Maringá/PR**. Dissertação (Mestrado) Programa de Pós-Graduação em Geografia. Universidade Estadual de Maringá. Maringá, 136p. 2006.

BERNARDES, A.; THOMÉ, A.; PRIETTO, P.D.M. ABREU, A.G. Quantificação e classificação dos resíduos da construção e demolição coletados no município de Passo Fundo, RS. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 8, n. 3, p. 65-76. 2008.

BIANCHINI, G., MARROCCHINO, E., TASSINARI, R., VACCARO, C. Recycling of construction and demolition waste materials: a chemical and mineralogical appraisal. **Waste Management**, v. 25, p. 149-159, 2005.

BOLAÑOS, R. M. L.; VARESCHE, M.B.; ZAIAT, M; FORESTI, E. Phenol degradation in horizontal-flow anaerobic immobilized biomass (haib) reactor under mesophilic conditions. **Water Science and Technology**. v. 44, n. 4, p. 167-174, 2001.

CABRAL, A.E.B. **Modelagem de propriedades mecânicas e de durabilidade de concretos produzidos com agregados reciclados, considerando-se a variabilidade da composição do RCC**. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo. São Carlos, 280p. 2007.

CABRAL, A.E.B.; MOREIRA, K.M.V. **Manual sobre os resíduos sólidos da construção civil**. SINDUSCON-CE. 43p. Fortaleza, 2011.

CARNEIRO, F.P. **Diagnóstico e ações da atual situação dos resíduos de construção civil na cidade do Recife**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós- Graduação em Engenharia Urbana -PPGEU da Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 131p. 2005.

CASSA, J.C.S.; CARNEIRO, A.P.; BRUM, I.A.S.; (coordenadores). **Reciclagem de entulho para a produção de materiais de construção**. Caixa Econômica Federal. EDUFBA. Salvador, 2001.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002**. Ministério das Cidades, Secretária Nacional de Habitação. Publicada no Diário Oficial da União em 17/07/2002.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução nº 348, de 16 de agosto de 2004**. Ministério das Cidades, Secretária Nacional de Habitação. Publicada no Diário Oficial da União em 17/08/2004.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução nº 431, de 24 de maio de 2011**. Ministério das Cidades, Secretária Nacional de Habitação. Publicada no Diário Oficial da União em 25/05/2011.

CORNELI, V.M. **Análise da gestão de resíduos de construção civil no município de Campo Mourão/ Paraná**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana da Universidade Estadual de Maringá. Maringá, 176p. 2009.

CORNELLI, R.; SCHNEIDER, V.E.; HILLIG, E.; POLETO, M. **Caracterização de resíduos de construção civil (RCC) em dois municípios da serra Gaúcha**. In: XXI Congresso de Iniciação Científica em Engenharia Tecnológica. UNIJUÍ. Ijuí, 2006.

COSTA, A.M.S. **Estudo de caso para determinação dos índices de perdas para uma obra vertical em Fortaleza/CE**. Monografia (Graduação). Universidade Federal do Ceará- Departamento de Engenharia Estrutural e Construção Civil, Fortaleza, 51p. 2011.

COSTA, N. A. A. **A reciclagem do resíduo de construção e demolição: uma aplicação da análise multivariada**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 188p. 2003.

DEFRA, Department of Environment Food and Rural Affairs. **Waste Data Overview**. Reino Unido, Maio, 2011.

DOSHO, Y. Development for a sustainable concrete waste of recycling system. **Journal of Advanced Concrete technology**, vol. 5 n. 1. p. 27-42, 2007.

ELIAS, H.B.Q. **Diagnóstico dos resíduos de construção civil para elaboração e implantação da Gestão Integrada no município de Patrocínio-MG**. Dissertação (Mestrado). Departamento de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental da Universidade de Ribeirão Preto. Ribeirão Preto, 99p. 2006.

FERNANDES, C. G. (2004). **Caracterização mecânica de agregados reciclados de resíduos de construção civil dos municípios do Rio de Janeiro e de Belo Horizonte para uso em pavimentação**. 2004. 109p. Dissertação (Mestrado) – Coordenação dos Programas de Pós-Graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE-UFRJ). Rio de Janeiro, 2004.

FERREIRA, A.G. **Estudo dos lixiviados das frações do aterro sanitário de São Carlos-SP por meio da caracterização físico-química**. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos/USP. São Carlos, 152p. 2010.

GIANNASI, F. **Amianto ou Asbesto**. 2006. Disponível em < www.abrea.com.br/cartilha.pdf>. Acesso em 06/02/2012.

GRUBBA, D.C.R.P; PARREIRA, A.B. **Emprego de Agregado Reciclado de Concreto em camadas de base e sub-base de pavimentos**. Universidade de São Paulo – Departamento de Transportes. São Paulo, 2009. Disponível em <http://www.cbtu.gov.br/monografia/2009/trabalhos/artigos/infraestrutura/2_95_AC.pdf>. Acesso em 06/02/2012.

GUEDES, T.A.; ARCOSI, C.R.L.; MARTINS, A.B.T.; JANEIRO, V.. **Estatística descritiva**. Projeto de Ensino: Aprender Fazendo Estatística. Departamento de Estatística. Universidade Estadual de Maringá. Paraná, 2006. Disponível em: <http://www.des.uem.br/uploads/arquivos_professor/0221095505.pdf>. Acesso em: 07 de outubro de 2011.

HALMEMAN, M.C.R.; SOUZA,P.C; CASARIN, A.N. Caracterização dos resíduos de construção civil na unidade de recebimento de resíduos sólidos no município de Campo Mourão – PR. **Revista Tecnológica**, Edição especial ENTECA 2009, p.203-209, 2009.

HARADA, E.; PIMENTEL, L.L. Estudo da viabilidade do reaproveitamento de gesso – queima lenta. In: **Anais do XIV Encontro de Iniciação Científica da PUC-Campinas** - 29 e 30 de setembro de 2009. São Paulo, 4p. 2009.

HENDRIKS, C.F. **The building cycle**. Holanda: Aeneas, 231 p. 2000.

IBAM. **Manual de gerenciamento integrado dos resíduos sólidos**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Administração Municipal (IBAM), 200p. 2001.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e estatística. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008**. 220p. Brasil, 2011.

JOHN, M.V.; AGOPYAN, V. **Reciclagem de resíduos da construção**. In: Seminário de Reciclagem de resíduos sólidos domiciliares. CETESB. São Paulo, 13p. 2005.

JOHN, V.M. **Reciclagem de resíduos na construção civil: contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento**. Tese (Doutorado). Departamento de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 102p. 2000.

JOHN, V.M.; CINCOTTO, M.A. **Gesso de Construção Civil**. In: Geraldo C. Isaia, Editor. Materiais de construção civil e Princípios de Ciência e Engenharia de materiais. São Paulo: IBRACON. p.727-760. 2007.

LASSO, P.R.O. **Utilização dos resíduos de construção civil reciclados (RCC-R) como corretivos da acidez do solo**. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Ciências – Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo. Piracicaba, 122p. 2011.

LATTERZA, L. M.; MACHADO JR., E. F. Concreto com Agregado Graúdo Reciclado: Propriedades no Estado Fresco e Endurecido e Aplicação em Pré-moldados Leves. **Caderno de Engenharia de Estruturas**. Sao Carlos, n 21, p.27-58, 2003.

LEITE, M.B. **Avaliação de propriedades mecânicas de concreto produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção civil.** Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 290p. 2001.

LIMA, J.H.C. **Utilização de resíduos de construção civil para pavimentos urbanos da região metropolitana de Fortaleza.** Dissertação (Mestrado). Programa de mestrado em Engenharia de Transportes – Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 185p. 2008.

LOVATO, P.S., **Verificação dos parâmetros de controle de agregados reciclados de resíduos de construção civil para utilização em concreto.** Dissertação (Mestrado) PPGECC/UFRGS, Porto Alegre, 180p. 2007.

MAYORGA, R.D.; LIMA, P.V.P.S.; RIOS, A.K.B. CABRAL, A.E.B. **Os resíduos da construção civil e suas implicações socioambientais e econômicas na cidade de Fortaleza-CE.** In: 47º SOBER- Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural. Anais. Porto Alegre, 2009.

MARQUES NETO, J.C. **Gestão dos Resíduos de construção civil no Brasil.** São Carlos: RIMA, 162p. 2005.

MIRANDA, L.F.R; ÂNGULO, S.C; CARELI, E.D. A reciclagem de resíduos de construção civil no Brasil: 1986-2008. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 9, n. 1, p. 57-71, 2009.

MORAIS, G.M.D. **Diagnóstico da deposição clandestina de resíduos de construção civil em bairros periféricos de Uberlândia: subsídios para uma gestão sustentável.** Dissertação (mestrado). Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Uberlândia, 201p. 2006.

NOVAES, M.V.; MOURÃO, C.A.M. **Manual de gestão ambiental de resíduos sólidos na construção civil.** Fortaleza: COOPERCON/CE, 2008.

NYCZ, Z. **Chumbo nas Tintas.** Paraná: APROMAC, 14p. 2009.

OLIVEIRA, E.G.; MENDES, O. **Gerenciamento de resíduos da construção civil e demolição: Estudo de caso da Resolução 307 do CONAMA.** Goiânia, 2008. Disponível em < <http://www.ucg.br/ucg/prope/cpgss/> > Acesso em 19/09/2010.

OLIVEIRA, M.E.D.; SALES, R.J.M.; OLIVEIRA, L.A.S.; CABRAL, A.E.B. Diagnóstico da geração e da composição dos RCC de Fortaleza/CE. **Eng. Sanitária Ambiental.** v.16. n.13. p. 219-224, 2011

OLIVEIRA, M.J.E. **Materiais Descartados pelas Obras de Construção Civil: Estudo dos resíduos de Concreto para Reciclagem.** Tese (Doutorado). Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista. São Carlos, 191p. 2002.

PINTO, T. P; GONZÁLES, J. L. R (coordenadores). **Manejo e gestão de resíduos da construção civil.** Volume I. Caixa Econômica Federal. Brasília, 2005.

PINTO, T.P. **Gestão Ambiental de resíduos de construção civil: a experiência Sinduscon.** São Paulo: SINDUSCON, 2005.

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

PIOVEZAN JR., G.T.A. **Avaliação dos resíduos da construção civil (RCC) gerados no município de Santa Maria**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 76p. 2007.

RAMALHO, A. M. ; PIRES, A. M. M. . Viabilidade do uso agrícola de resíduo da construção civil e da indústria cerâmica: atributos químicos. In: 3º Congresso interinstitucional de iniciação científica - CIIC 2009- **Anais**. 2009, Campinas.

RAMOS, B.F. **Indicadores de qualidade dos resíduos de construção civil do município de Vitória-ES**. Dissertação (Mestrado). Centro Tecnológico – Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, 161p. 2007.

SANTOS, A.N. **Diagnóstico da situação dos resíduos de construção civil (RCC) no município de Petrolina (PE)**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil. Universidade Católica de Pernambuco. Recife, 111p. 2008.

SANTOS, E.C.G. **Aplicação de Resíduos de construção civil reciclados (RCC-R) em estruturas de solo reforçado**. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos – Departamento de Geotecnia. São Carlos, 168p. 2007.

SARTI, A. Novo reator anaeróbio reduz até 92% de sulfato em efluente. **ÁGUA ONLINE-Revista Digital**. 2008. Disponível em <<http://www.aguaonline.com.br/>>. Acesso em 15/01/2012.

SCHAEFER, C.O.; ROCHA, J.C.; CHERIAF, M. Estudo do comportamento de lixiviação de argamassas produzidas com agregados reciclados. **Exacta**. v.5, n.2. p.243-252, 2007.

SILVA, M.G. **Cimentos Portland com adições minerais**. In: Geraldo C. Isaia, Editor. Materiais de construção civil e Princípios de Ciência e Engenharia de materiais. São Paulo: IBRACON. p.761-793. 2007.

SILVA, W.R.C; ARNOSTI JR., S. Caracterização do resíduo de construção e demolição (RCC) reciclado. **Holos Environment**, v.5 n.2, p. 137-151, 2006.

TAM, V.W.Y.; TAM, C.M. A review on the viable technology for construction waste recycling. **Resources, Conservation and Recycling**. v. 47, p. 209-221, 2006.

TOGERÖ, A. **Leaching of hazardous substances from concrete constituents and painted wood panels**. Tese (Doutorado). Department of building technology. Chalmers University of Technology. Göteborg, Suécia. 133p. 2004.

ULSEN, C.; KAHN, H.; ÂNGULO, S.C.; JOHN, V. M. Composição química de agregados mistos de resíduos de construção civil do Estado de São Paulo. **R. Esc. Minas, Ouro Preto**. v.63 n.2. p.339-346, 2010.

UNAPROSIL. **Silicato de Sódio Alcalino**. Disponível em <http://www.unaprosil.com.br/pt/index.php?option=com_content&task=view&id=40>. Acesso em 01 de março de 2012.

USEPA, United States Environmental Protection Agency **Estimating 2003 Building – Related Construction and Demolition Materials Amount**. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC. Março, 2009.

VÁZQUEZ, E. **Aplicación de nuevos materiales reciclados en La construcción civil**. In: IV Seminário Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção Civil - Materiais Reciclados e suas Aplicações. IBRACON. São Paulo. pp. 11-22, 2001.

VIEIRA, G.L. **Estudo do processo de corrosão sob ação de íons cloreto em concretos obtidos a partir de agregados reciclados de resíduos de construção civil**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 150p. 2003.

YANG, S.H. **International Good Practices in Construction and Demolition Waste Management**. In: National Recycling & World Habitat Day, 2006.

ZENG, Y.; RAUTH, K.M.; PEYTON, R.L.; BANERJI, S.K. Characterization of solid waste disposed at Columbia Sanitary Landfill in Missouri. **Waste Management & Research**. Vol. 23. p.62-71, 2005.

ZORDAN, S.E. **Entulho da indústria da construção civil**. Artigo. São Paulo: PCC-EPUSP. 2001. Disponível em <http://www.reciclagem.pcc.usp.br/entulho_ind_ccivil.htm>. Acesso em 09/12/2011.

ANEXOS



ANEXO A – Caminhão fazendo o descarregamento de RCC em Fortaleza-CE



ANEXO B – Resíduos Classe B e D misturados aos resíduos Classe A.

RELATÓRIO DE ENSAIO FÍSICO-QUÍMICO DE ÁGUA

Interessado: Adriana Sampaio Lima
Cidade: Fortalina – CE
Endereço: Rua França, 860 - Maraponga
Data de Emissão: 21/12/2011

Tipo de Produto: Ensaio de Lixiviação	
Local de Coleta: LAM 01	Lote:
Data de Fabricação:	Validade:
Data/Hora de Coleta: 07/11/2011	Coletor: Adriana Lima
Data/Hora de Entrada: 07/12/2011	Nº do Serviço: 100

NOMENCLATURAS

mg/L : miligrama por litro	Ufc : Unidade formadora de colônia
V.M.P/100 mL : Valor Máximo Permitido por 100 mililitros	UT : Unidade de Turbidez
µS/cm : microsiemens por centímetro	µg/L : microgramas por litro

ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS

PARÂMETRO	V.M.P. LIXIVIADO	RESULTADO	UNIDADE
Arsênio	1,0	< 0,001	mg/L
Bário	70	0,14	mg/L
Fluoretos	150	0,77	mg/L
Mercúrio	0,1	< 0,001	mg/L
Prata	5,0	< 0,01	mg/L
Selênio	1,0	< 0,01	mg/L

CONCLUSÃO:

1. Produto enviado ao laboratório.
2. O produto analisado atende os parâmetros exigidos na norma ABNT NBR 10004 de 2004.

REFERÊNCIAS:

- Standard of Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20 th Edition 1998.
- US EPA Methods 7000. An Atomic Absorption Methods.
- ABNT NBR 10004 de 2004

QUÍMICO RESP.
Carlos Márcio
CBO 10200077
10ª Região

RELATÓRIO DE ENSAIO FÍSICO-QUÍMICO DE ÁGUA

Interessado: Adriana Sampaio Lima
Cidade: Fortalina – CE
Endereço: Rua França, 860 - Maraponga
Data de Emissão: 21/12/2011

Tipo de Produto: Ensaio de Lixiviação	
Local de Coleta: LAM 02	Lote:
Data de Fabricação:	Validade:
Data/Hora de Coleta: 07/11/2011	Coletor: Adriana Lima
Data/Hora de Entrada: 07/12/2011	Nº do Serviço: 101

NOMENCLATURAS

mg/L : miligrama por litro	Ufc : Unidade formadora de colônia
V.M.P/100 mL : Valor Máximo Permitido por 100 mililitros	UT : Unidade de Turbidez
µS/cm : microsiemens por centímetro	µg/L : microgramas por litro

ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS

PARÂMETRO	V.M.P. LIXIVIADO	RESULTADO	UNIDADE
Arsênio	1,0	< 0,001	mg/L
Bário	70	< 0,01	mg/L
Fluoretos	150	0,73	mg/L
Mercúrio	0,1	< 0,001	mg/L
Prata	5,0	< 0,01	mg/L
Selênio	1,0	< 0,01	mg/L

CONCLUSÃO:

1. Produto enviado ao laboratório.
2. O produto analisado atende os parâmetros exigidos na norma ABNT NBR 10004 de 2004.

REFERÊNCIAS:

- Standard of Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20 th Edition 1998.
- US EPA Methods 7000. An Atomic Absorption Methods.
- ABNT NBR 10004 de 2004

QUÍMICO RESP.
Carlos Marcio
CRO 10200077
10ª Região

RELATÓRIO DE ENSAIO FÍSICO-QUÍMICO DE ÁGUA

Interessado: Adriana Sampaio Lima
Cidade: Fortalina – CE
Endereço: Rua França, 860 - Maraponga
Data de Emissão: 21/12/2011

Tipo de Produto: Ensaio de Lixiviação	
Local de Coleta: LAM 04	Lote:
Data de Fabricação:	Validade:
Data/Hora de Coleta: 08/11/2011	Coletor: Adriana Lima
Data/Hora de Entrada: 07/12/2011	Nº do Serviço: 103

NOMENCLATURAS

mg/L : miligrama por litro	Ufc : Unidade formadora de colônia
V.M.P/100 mL : Valor Máximo Permitido por 100 mililitros	UT : Unidade de Turbidez
µS/cm : microsiemens por centímetro	µg/L : microgramas por litro

ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS

PARÂMETRO	V.M.P. LIXIVIADO	RESULTADO	UNIDADE
Arsênio	1,0	< 0,001	mg/L
Bário	70	0,29	mg/L
Fluoretos	150	0,95	mg/L
Mercúrio	0,1	< 0,001	mg/L
Prata	5,0	< 0,01	mg/L
Selênio	1,0	< 0,01	mg/L

CONCLUSÃO:

1. Produto enviado ao laboratório.
2. O produto analisado atende os parâmetros exigidos na norma ABNT NBR 10004 de 2004.

REFERÊNCIAS:

- Standard of Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20 th Edition 1998.
- US EPA Methods 7000. An Atomic Absorption Methods.
- ABNT NBR 10004 de 2004

QUÍMICO RESP.
Carlos Marcio
CRO 10200077
10ª Região

RELATÓRIO DE ENSAIO FÍSICO-QUÍMICO DE ÁGUA

Interessado: Adriana Sampaio Lima
Cidade: Fortalina – CE
Endereço: Rua França, 860 - Maraponga
Data de Emissão: 21/12/2011

Tipo de Produto: Ensaio de Lixiviação	
Local de Coleta: LAM 03	Lote:
Data de Fabricação:	Validade:
Data/Hora de Coleta: 08/11/2011	Coletor: Adriana Lima
Data/Hora de Entrada: 07/12/2011	Nº do Serviço: 102

NOMENCLATURAS

mg/L : miligrama por litro	Ufc : Unidade formadora de colônia
V.M.P/100 mL : Valor Máximo Permitido por 100 mililitros	UT : Unidade de Turbidez
µS/cm : microsiemens por centímetro	µg/L : microgramas por litro

ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS

PARÂMETRO	V.M.P. LIXIVIADO	RESULTADO	UNIDADE
Arsênio	1,0	< 0,001	mg/L
Bário	70	0,29	mg/L
Fluoretos	150	0,73	mg/L
Mercúrio	0,1	< 0,001	mg/L
Prata	5,0	< 0,01	mg/L
Selênio	1,0	< 0,01	mg/L

CONCLUSÃO:

1. Produto enviado ao laboratório.
2. O produto analisado atende os parâmetros exigidos na norma ABNT NBR 10004 de 2004.

REFERÊNCIAS:

- Standard of Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20 th Edition 1998.
- US EPA Methods 7000. An Atomic Absorption Methods.
- ABNT NBR 10004 de 2004

QUÍMICO RESP.
Carlos Marcio
 CRO 10200077
 10ª Região

RELATÓRIO DE ENSAIO FÍSICO-QUÍMICO DE ÁGUA

Interessado: Adriana Sampaio Lima
Cidade: Fortalina – CE
Endereço: Rua França, 860 - Maraponga
Data de Emissão: 21/12/2011

Tipo de Produto: Ensaio de Solubilização	
Local de Coleta: SAM 01	Lote:
Data de Fabricação:	Validade:
Data/Hora de Coleta: 07/11/2011	Coletor: Adriana Lima
Data/Hora de Entrada: 07/12/2011	Nº do Serviço: 104

NOMENCLATURAS

mg/L : miligrama por litro	Ufc : Unidade formadora de colônia
V.M.P/100 mL : Valor Máximo Permitido por 100 mililitros	UT : Unidade de Turbidez
µS/cm : microsiemens por centímetro	µg/L : microgramas por litro

ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS

PARÂMETRO	V.M.P. SOLUBILIZAÇÃO	RESULTADO	UNIDADE
Arsênio	0,01	< 0,001	mg/L
Bário	0,7	0,06	mg/L
Cianetos	0,07	< 0,001	mg/L
Cobre	2,0	< 0,005	mg/L
Fluoretos	1,5	0,70	mg/L
Mercúrio	0,001	< 0,001	mg/L
Prata	0,05	< 0,01	mg/L
Selênio	0,01	< 0,01	mg/L
Alumínio	0,2	< 0,01	mg/L

CONCLUSÃO:

1. Produto enviado ao laboratório.
2. O produto analisado atende os parâmetros exigidos na norma ABNT NBR 10004 de 2004.

REFERÊNCIAS:

- Standard of Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20 th Edition 1998.
- US EPA Methods 7000. An Atomic Absorption Methods.
- ABNT NBR 10004 de 2004

QUÍMICO RESP.
Carlos Márcio
C.R.O. 10200077
10ª Região

RELATÓRIO DE ENSAIO FÍSICO-QUÍMICO DE ÁGUA

Interessado: Adriana Sampaio Lima
Cidade: Fortalina – CE
Endereço: Rua França, 860 - Maraponga
Data de Emissão: 21/12/2011

Tipo de Produto: Ensaio de Solubilização	
Local de Coleta: SAM 02	Lote:
Data de Fabricação:	Validade:
Data/Hora de Coleta: 07/11/2011	Coletor: Adriana Lima
Data/Hora de Entrada: 07/12/2011	Nº do Serviço: 105

NOMENCLATURAS

mg/L: miligrama por litro	Ufc: Unidade formadora de colônia
V.M.P/100 mL: Valor Máximo Permitido por 100 mililitros	UT: Unidade de Turbidez
µS/cm: microsiemens por centímetro	µg/L: microgramas por litro

ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS

PARÂMETRO	V.M.P. SOLUBILIZAÇÃO	RESULTADO	UNIDADE
Arsênio	0,01	< 0,001	mg/L
Bário	0,7	< 0,01	mg/L
Cianetos	0,07	< 0,001	mg/L
Cobre	2,0	< 0,005	mg/L
Fluoretos	1,5	0,96	mg/L
Mercúrio	0,001	< 0,001	mg/L
Prata	0,05	< 0,01	mg/L
Selênio	0,01	< 0,01	mg/L
Alumínio	0,2	< 0,01	mg/L

CONCLUSÃO:

1. Produto enviado ao laboratório.
2. O produto analisado atende os parâmetros exigidos na norma ABNT NBR 10004 de 2004.

REFERÊNCIAS:

- Standart of Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20 th Edition 1998.
- US EPA Methods 7000. An Atomic Absorption Methods.
- ABNT NBR 10004 de 2004

QUÍMICO RESP.
Carlos Marcio
CRQ 10200077
10ª Região

RELATÓRIO DE ENSAIO FÍSICO-QUÍMICO DE ÁGUA

Interessado: Adriana Sampaio Lima
Cidade: Fortalina – CE
Endereço: Rua França, 860 - Maraponga
Data de Emissão: 21/12/2011

Tipo de Produto: Ensaio de Solubilização	
Local de Coleta: SAM 03	Lote:
Data de Fabricação:	Validade:
Data/Hora de Coleta: 08/11/2011	Coletor: Adriana Lima
Data/Hora de Entrada: 07/12/2011	Nº do Serviço: 106

NOMENCLATURAS

mg/L : miligrama por litro	Ufc : Unidade formadora de colônia
V.M.P/100 mL : Valor Máximo Permitido por 100 mililitros	UT : Unidade de Turbidez
µS/cm : microsiemens por centímetro	µg/L : microgramas por litro

ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS

PARÂMETRO	V.M.P. SOLUBILIZAÇÃO	RESULTADO	UNIDADE
Arsênio	0,01	< 0,001	mg/L
Bário	0,7	< 0,01	mg/L
Cianetos	0,07	< 0,001	mg/L
Cobre	2,0	< 0,005	mg/L
Fluoretos	1,5	0,84	mg/L
Mercúrio	0,001	< 0,001	mg/L
Prata	0,05	< 0,01	mg/L
Selênio	0,01	< 0,01	mg/L
Alumínio	0,2	0,07	mg/L

CONCLUSÃO:

1. Produto enviado ao laboratório.
2. O produto analisado atende os parâmetros exigidos na norma ABNT NBR 10004 de 2004.

REFERÊNCIAS:

- Standart of Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20 th Edition 1998.
- US EPA Methods 7000. An Atomic Absorption Methods.
- ABNT NBR 10004 de 2004

QUÍMICO RESP.
Carlos Márcio
CRQ 10200077
10ª Região

RELATÓRIO DE ENSAIO FÍSICO-QUÍMICO DE ÁGUA

Interessado: Adriana Sampaio Lima
Cidade: Fortalina – CE
Endereço: Rua França, 860 - Maraponga
Data de Emissão: 21/12/2011

Tipo de Produto: Ensaio de Solubilização	
Local de Coleta: SAM 04	Lote:
Data de Fabricação:	Validade:
Data/Hora de Coleta: 08/11/2011	Coletor: Adriana Lima
Data/Hora de Entrada: 07/12/2011	Nº do Serviço: 107

NOMENCLATURAS

mg/L : miligrama por litro	Ufc : Unidade formadora de colônia
V.M.P/100 mL : Valor Máximo Permitido por 100 mililitros	UT : Unidade de Turbidez
µS/cm : microsiemens por centímetro	µg/L : microgramas por litro

ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS

PARÂMETRO	V.M.P. SOLUBILIZAÇÃO	RESULTADO	UNIDADE
Arsênio	0,01	< 0,001	mg/L
Bário	0,7	< 0,01	mg/L
Cianetos	0,07	0,010	mg/L
Cobre	2,0	< 0,005	mg/L
Fluoretos	1,5	0,99	mg/L
Mercúrio	0,001	< 0,001	mg/L
Prata	0,05	< 0,01	mg/L
Selênio	0,01	< 0,01	mg/L
Alumínio	0,2	0,31	mg/L

CONCLUSÃO:

1. Produto enviado ao laboratório.
2. O produto analisado não atende os parâmetros exigidos na norma ABNT NBR 10004 de 2004.

REFERÊNCIAS:

- Standard of Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20 th Edition 1998.
- US EPA Methods 7000. An Atomic Absorption Methods.
- ABNT NBR 10004 de 2004

QUÍMICO RESP.
Carlos Márcio
CRQ 10200077
19ª Região