



Universidade Federal da Paraíba
Centro de Tecnologia
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA E
AMBIENTAL**

**TAXA DE GERAÇÃO DE RESÍDUOS DA
CONSTRUÇÃO CIVIL EM EDIFICAÇÕES
NA CIDADE DE JOÃO PESSOA**

por

Ricardo Vasconcelos Gomes da Costa

*Dissertação de Mestrado apresentada à Universidade Federal da
Paraíba para obtenção do grau de Mestre*



Universidade Federal da Paraíba
Centro de Tecnologia
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA E
AMBIENTAL**

**TAXA DE GERAÇÃO DE RESÍDUOS DA
CONSTRUÇÃO CIVIL EM EDIFICAÇÕES
NA CIDADE DE JOÃO PESSOA**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental da Universidade Federal da Paraíba como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Mestre.

Ricardo Vasconcelos Gomes da Costa

ORIENTADOR: Prof. Dr. Gilson Barbosa Athayde Júnior

C837t Costa, Ricardo Vasconcelos Gomes da.
Taxa de geração de resíduos da construção civil em edificações na cidade de João Pessoa/ Ricardo Vasconcelos Gomes da Costa. - - João Pessoa: [s.n.], 2012.
67f. : il.

Orientador: Gilson Barbosa Athayde Júnior.
Dissertação (Mestrado)-UFPB/CT.

1. Engenharia urbana e ambiental. 2. Resíduos - Construção civil. 3. Resíduos sólidos. 4. Taxa de geração - Resíduos.

UFPB/BC

CDU: 62:711(043)

**TAXA DE GERAÇÃO DE RESÍDUOS DA
CONSTRUÇÃO CIVIL EM EDIFICAÇÕES
NA CIDADE DE JOÃO PESSOA**

por

Ricardo Vasconcelos Gomes da Costa

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental do Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba em 10 de abril de 2012.

BANCA EXAMINADORA

Profª. Dra. Viviana Maria Zanta - UFBA
Examinadora externa

Prof. Dr. Joácio de Araújo Moraes Júnior - UFPB
Examinador interno

Prof. Dr. Gilson Barbosa Athayde Júnior - UFPB
Orientador

João Pessoa – PB

Abril - 2012

A Ti meu DEUS que me presenteou com a vida e me deu força e perseverança para superar as dificuldades. Agradeço por teres me ajudado a ultrapassar os obstáculos e a realizar este sonho que por vezes parecia tão distante. Na certeza que estarás sempre do meu lado, agora em busca de novas realizações. Peço-te que me proteja e me guarde, pois só tu és o meu rochedo e fortaleza.

AGRADECIMENTOS

À Deus, por ser a mais importante presença na minha vida e por sempre me dar sabedoria e paz para enfrentar os obstáculos do dia a dia.

Ao Professor Gilson Barbosa Athayde Júnior, meu orientador, pelos ensinamentos transmitidos, dedicação, colaboração e pela oportunidade de realizar este trabalho.

Aos meus pais Cleide Vasconcelos e Walter Costa, pela força, incentivo, pela educação que me foi dada e principalmente por serem os alicerces da minha vida.

A meus irmãos Alyxandre e Renata, pela admiração e torcida para realização deste objetivo.

Aos professores e funcionários do curso de Pós-Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental.

A Mariana Moreira de Oliveira pelas contribuições na coleta de alguns dados de campo para esta pesquisa.

Aos amigos do mestrado, pela amizade e apoio nas horas de estudos e incentivo nas horas de desânimo, em especial a William Vieira, Natália Cibely, Juliana Rayssa, Franklim Linhares, Rodolfo Oliveira e Marcos Padilha.

Aos amigos de profissão, Alessandro Diniz, Antônio Sobrinho e Amanda Costa pela ajuda no desenvolvimento da minha pesquisa e pela colaboração e incentivo na realização deste trabalho.

Agradeço a CAPES, que ajudou com a bolsa de estudos.

Enfim, a todos que contribuíram direta ou indiretamente na realização deste trabalho.

TAXA DE GERAÇÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL EM EDIFICAÇÕES NA CIDADE DE JOÃO PESSOA.

RESUMO

Diante do crescimento acelerado da construção civil em João Pessoa e da disposição irregular dos RCC gerados, determinou-se a taxa de geração de RCC em kg/m² de área construída, visando auxiliar ações de fiscalização e acompanhamento da destinação final dos RCC. Foi escolhida uma amostra das edificações em fase de construção em João Pessoa para coleta das características de cada obra e do volume gerado de RCC. Durante a fase de construção, foi passado para cada empresa uma ficha de acompanhamento e anotação do volume de descarte dos RCC ao longo de todo o cronograma de execução da construção. A partir do volume descartado pelas construtoras, foi determinada a massa de RCC gerado em cada obra, utilizando a massa unitária de 1.025 kg/m³, obtida através da média das pesagens de RCC. Foi feita uma análise estatística dos dados utilizando dois grupos: grupos das obras controle, sendo estas as que foram acompanhadas pelo mestrande diariamente, e o grupo das demais obras de modo a validar a amostra. A amostra foi considerada válida e assim, foi determinada a taxa de geração de RCC de todas as obras concluídas. Os resultados indicaram uma taxa de geração de RCC de resíduos classe A de 86,27 kg/m², não tendo sido encontradas diferenças significativas entre tal taxa em obras particulares (residenciais) e obras públicas. Foram calculados os limites inferior e superior 90% de confiança para a média aritmética da taxa de geração, sendo estes valores de 62,31 e 136,02 kg/m², respectivamente. A partir desses valores, o controle da geração e disposição de RCC pode ser realizado pelos órgãos competentes, dando o indicativo de quais obras podem estar infringindo a Lei Municipal 11.376, bem como a resolução CONAMA 307.

Palavras Chave: Taxa de geração, Resíduos da Construção Civil, Resíduos Sólidos.

**GENERATION RATE OF CONSTRUCTION WASTE IN BUILDINGS IN THE CITY OF
JOÃO PESSOA.**

ABSTRACT

Given the high index of construction in the city of João Pessoa, in northeast Brazil and the frequent irregular disposal of its residues, the objective of this work was to study the generation rate of construction wastes (CW) based on constructed area of the building, so that a more effective inspection can be implemented by the proper instances. A sample of building was choose among those under construction in João Pessoa and the collection of data regarding to their CW volume generated and other characteristics of the building were performed. From the volume of CW discharged by the building companies, the generation rate was calculated based on a unit mass of 1.025 kg/m³ determined in this work. The sample was divided into two groups: (1) control group and (2) non-control group. The control group was made up by the building in which the author worked as inspector, visiting them on a daily base. Analysis of variance showed that the generation rate from control group did not differ from that from non-control group, showing that the methodology applied for data collection can be considered a valid one. Results showed that the generation rate of class A (CONAMA Resolution 307) CW in João Pessoa is 86,27 kg/m² and that there were no significant difference between that from dwellings and non-dwellings buildings. The 90% confidence interval for the arithmetic mean was calculated and the lower and upper limits were 62,31 and 136,02 kg/m², respectively. Based on these results the control on the generation and disposal of CW can be done more efficiently by municipal authorities.

Keywords: Generation rate, Construction wastes, Solid wastes

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Variabilidade dos agregados graúdos de RCC mistos reciclados em função de caçambas processadas – fase de composição (catação)	17
Figura 2 - Deposição irregular de resíduos ao longo de vias e logradouros públicos.	31
Figura 3 - Usina de Triagem e Beneficiamento de RCC de João Pessoa.....	34
Figura 4 - Brasil, Paraíba e o Município de João Pessoa.....	35
Figura 5 - Crescimento de edificações verticais	36
Figura 6 - Evolução demográfica em João Pessoa, PB	37
Figura 7 – Delimitação da amostra de obras.....	38
Figura 8 - Desenho esquemático da caixa utilizada para determinação da massa unitária do RCC.....	41
Figura 9 - Preenchimento do recipiente com RCC para posterior pesagem	42
Figura 10 - Balança e recipiente utilizado para pesagem dos RCC das Obras.....	42
Figura 11 - Forma de transporte dos RCC de diferentes capacidades	43
Figura 12 - Gráfico comparativo da massa unitária de RCC	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Composição, em porcentagens, do RCC de diversas cidades brasileiras	18
Tabela 2 - RCC – Participação (%) conforme atividade de construção ou demolição ...	18
Tabela 3 - Massa Unitária do RCC bruto	19
Tabela 4 - Geração dos RCC relativa à geração de RSU e Geração de RCC em localidades diversas, em Mt/ano e tonelada/hab.ano	26
Tabela 5 - Geração de RCC em kg/m ²	28
Tabela 6 - Estudos da determinação da taxa de RCC com base em medição direta	30
Tabela 7- Relação das obras estudadas para o acompanhamento da geração dos RCC	40
Tabela 8 - Amostras para cálculo da massa unitária do RCC	49
Tabela 9 - Taxa de Geração de RCC em kg/m ² dos grupos para análise e Análise de variância das obras controle e demais obras	51
Tabela 10 - Análise de variância das obras controle (grupo 1) e demais obras (grupo 2)	52
Tabela 11 - Taxa de Geração de RCC em kg/m ² dos grupos para análise e Análise de variância das obras particulares e públicas.....	54
Tabela 12 - Análise de variância das obras particulares (grupo 3) e obras públicas (grupo 4).....	55
Tabela 13 - Relação das obras concluídas e taxa de geração de RCC	57
Tabela 14 - Limites de aceitação da taxa de geração de RCC classe A.....	58

LISTA DE SIGLAS

CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CTR	Controle de Transporte de Resíduo
PGRCD	Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil e Demolição
RCC	Resíduos da Construção Civil
RCD	Resíduos de Construção e Demolição
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
SEINFRA	Secretaria de Infraestrutura de João Pessoa-PB
SINDUSCON – JP	Sindicato da Indústria da Construção Civil de João Pessoa
USIBEN	Usina de Triagem e Beneficiamento de João Pessoa-PB

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1- INTRODUÇÃO.....	12
1.1- APRESENTAÇÃO	12
1.2 - OBJETIVOS	14
1.2.1- Objetivo Geral	14
1.2.2 - Objetivos Específicos.....	14
CAPÍTULO 2- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1 RCC: Definição	15
2.2 Composição e Caracterização dos RCC	15
2.2.1 Composição dos RCC	15
2.2.2 Caracterização dos RCC.....	19
2.3 Classificação de RCC	20
2.4 Impactos Relacionados aos RCC	21
2.5 Taxas de geração de RCC	22
2.6 Situação dos RCC em João Pessoa.....	31
CAPÍTULO 3 - METODOLOGIA.....	35
3.1 Delimitação da área de estudo	35
3.2 Descrições das Obras Estudadas.....	38
3.3 Determinação da Massa Unitária dos RCC	41
3.4 Levantamento do Volume de RCC	43
3.6 Tratamento Estatístico dos Dados	46
3.7 Fluxograma da pesquisa.....	48
CAPÍTULO 4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	49
4.1 Massa Unitária do RCC	49
4.2 Taxa de Geração de RCC	50
4.2.1 Teste para validação da amostra	50
4.2.2 Teste entre as médias das obras de usuário particular e público	53
CAPÍTULO 5- CONCLUSÕES.....	59
CAPÍTULO 6- REFERÊNCIAS	60
ANEXOS	66

CAPÍTULO 1- INTRODUÇÃO

1.1- APRESENTAÇÃO

A indústria da construção civil vem apresentando altos índices de crescimento no Brasil e vem trazendo consigo benefícios socioeconômicos, com participação de forma ativa na geração de empregos e renda. No mesmo sentido, a cidade de João Pessoa também apresenta um elevado e persistente índice de crescimento em edificações verticais e horizontais. Segundo dados do SINDUSCON-JP, 400 novos edifícios estão em processo de construção em João Pessoa (SINDUSCON-JP, 2012). Por outro lado, a construção civil vem causando uma geração intensa de RCC (Resíduos da Construção Civil) que, dispostos de maneira inadequada, vêm causando impactos ao meio ambiente, com a poluição do solo, assoreamento de córregos, enchentes, proliferação de vetores de doenças, obstrução de vias de tráfego, entre outros.

Dessa forma, os RCC representam um problema de saneamento ambiental, apresentando-se em volume de geração crescente e de grande variedade, constituindo-se desde os resíduos recicláveis como plástico, papel, vidro e metal, até resíduos tóxicos e perigosos, como restos de tintas e solventes e outros produtos derivados do petróleo, e ainda resíduos de naturezas cerâmica e cimentícia.

A ausência de tratamento adequado para tais resíduos gera graves problemas ambientais, sobretudo nas cidades em processo mais dinâmico de expansão ou renovação urbana, como é o caso da cidade de João Pessoa, já necessitando, com urgência, de medidas de controle, tanto de gerenciamento, quanto de soluções adequadas em caráter permanente, tais como usina da reciclagem e utilização do material produzido em obras da própria prefeitura.

Em João Pessoa-PB, foi promulgada em 10/10/2007 a Lei 11.176 (JOÃO PESSOA, 2007), que complementarmente à Resolução CONAMA nº- 307/2002 dá diretrizes para o gerenciamento dos RCC. A citada Lei institui o Plano Integrado de Gerenciamento dos Resíduos da Construção Civil e Demolição, onde os geradores dos RCC são os responsáveis pelos resíduos das atividades da construção, reforma, reparos e demolições, bem como por aqueles resultantes dos serviços preliminares de

remoção de vegetação e escavação de solos, sendo obrigatório como destino final o encaminhamento para a USIBEN – Usina de Triagem e Beneficiamento de João Pessoa-PB ou pontos de coleta definidos pela prefeitura. No ato da destinação correta é entregue ao gerador o documento de Controle de Transporte de Resíduo (CTR).

A liberação de Habite-se, pelo órgão municipal competente, para os empreendimentos dos geradores de RCC, está condicionada à apresentação do CTR ou outros documentos de contratação de serviços previstos no Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil e Demolição, que comprovam a correta triagem, transporte e destinação dos resíduos gerados.

Observa-se, no entanto, que o controle por CTR não permite averiguar se todo RCC gerado realmente foi manejado adequadamente. Devido ao grande volume de RCC em destinação irregular, supõe-se que parte das obras que apresentam CTR estejam desviando parte dos RCC para locais clandestinos.

A falta do conhecimento sobre os volumes de RCC gerados resulta na necessidade de um estudo para a determinação da taxa de geração correspondente. Com o conhecimento dessa taxa, os órgãos fiscalizadores terão um parâmetro comparativo das quantidades de RCC destinados à USIBEN.

Diante desse cenário, o poder público deve exercer um papel fundamental para disciplinar o fluxo dos RCC, utilizando instrumentos para regular a sua gestão adequada, isto é, quantificando e controlando os resíduos gerados em cada obra e reciclando de modo a diminuir o volume de descarte ao meio ambiente. Além disso, se faz necessária uma mudança de cultura por parte de todos os agentes envolvidos, com vistas à melhoria das condições de vida no planeta.

1.2 - OBJETIVOS

1.2.1- Objetivo Geral

Determinar a taxa de geração de RCC com base na área construída da edificação.

1.2.2 - Objetivos Específicos

- Quantificar a produção de RCC nas edificações em construção em João Pessoa-PB.
- Comparar a taxa de geração de RCC para obras de duas finalidades distintas de usuário: particular e público.

CAPÍTULO 2- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 RCC: Definição

A geração dos Resíduos Sólidos Urbanos – RSU tem influenciado diretamente na qualidade de vida da população, mas somente nas últimas décadas vem sendo vista como parte importante do saneamento dos ambientes urbanos. Entre os resíduos gerados no ambiente urbano estão os chamados Resíduos da Construção Civil – RCC que, de acordo com a Resolução nº 307 do CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente (BRASIL, 2002), são os provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção, como também 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.

As terminologias Resíduos da Construção Civil (RCC) e Resíduos de Construção e Demolição (RCD) têm sido utilizadas no meio acadêmico para denominar os resíduos sólidos gerados nas atividades de construção e demolição. Neste trabalho será utilizado o termo RCC.

2.2 Composição e Caracterização dos RCC

2.2.1 Composição dos RCC

Segundo Ângulo e John (2006), os RCC gerados no Brasil são compostos predominantemente por materiais inorgânicos não metálicos (em torno de 90% em massa), enquanto que Carneiro (2005) afirma que a composição dos RCC está estreitamente ligada às diversas características de sua fonte geradora (construções, reformas, demolições) e do momento de coleta da amostra, atribuída ao período ou fase da obra.

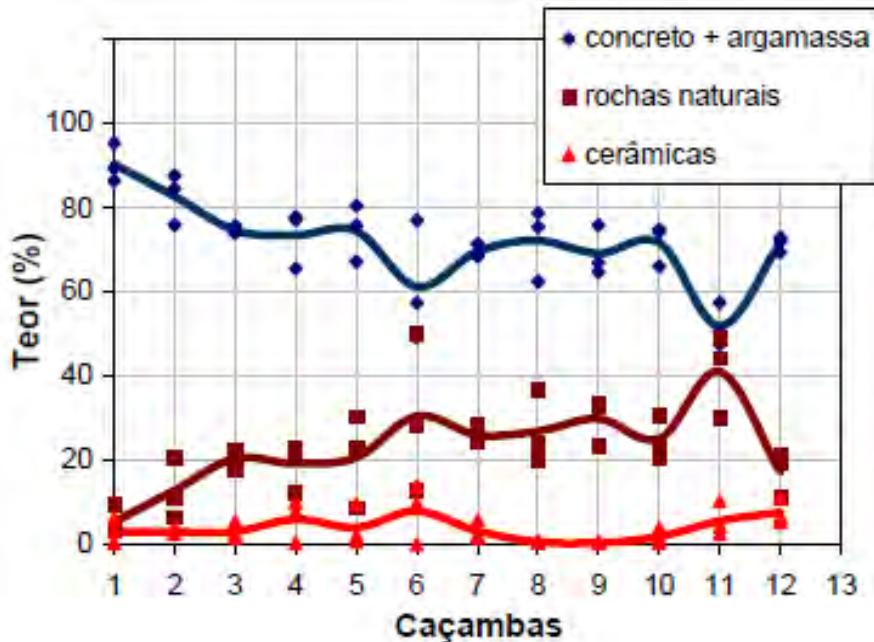
Qualidade da mão-de-obra, técnicas construtivas empregadas e adoção de programas de qualidade são fatores que determinam as características do RCC como composição e quantidade produzida, fatores estes que dependem diretamente do estágio de desenvolvimento da indústria local de construção (ZORDAN, 1997).

A composição dos RCC, oriundos de cada uma das atividades que compõem os trabalhos da construção civil, é diferente em cada etapa da obra, mas sempre há um produto que se sobressai, sendo este diferente em cada país, em razão da diversidade de tecnologias construtivas utilizadas. Harder e Freeman (1997); EPA (1998); Queensland (2003), citados por Ulsen (2006), relatam que os resíduos ingleses, norte-americanos e australianos possuem altos teores de madeira, devido aos costumes locais e métodos construtivos diferenciados utilizados nessas regiões.

Carneiro (2005) enfatiza que os dados disponíveis acerca da composição média dos RCC em outros países demonstram que a realidade encontrada varia bastante. De acordo com Swana (1993), *apud* Pinto (1999), no caso de Toronto, por exemplo, 34,8% dos resíduos de construção e/ou demolição gerados são de madeira, o que pode ser explicado pela tradição construtiva da região. Já na Bélgica, resíduos de concreto e alvenaria juntos são responsáveis por 83,4% do total de RCC gerado, sendo a madeira responsável apenas por 2,1%.

Segundo estudos feitos por Ângulo (2005), os RCC no Brasil são compostos essencialmente por concreto e argamassa, rochas naturais e material cerâmico apresentando, porém, grandes variações nas proporções de cada um destes. A figura 1 mostra a variabilidade da composição na fase de catação dos agregados graúdos de RCC reciclados obtidos de uma usina piloto na cidade de Santo André – SP.

Figura 1 – Variabilidade dos agregados graúdos de RCC mistos reciclados em função de caçambas processadas – fase de composição (catação)



Fonte: Ângulo (2005)

A Tabela 1 apresenta os resultados da composição dos RCC encontrados por diversas pesquisas para algumas cidades brasileiras em que se verifica que os materiais cimentícios (concreto e argamassa) e materiais cerâmicos foram os que apresentaram maior participação na composição dos RCC descartados, e desta forma, verificando-se que parcelas significativas na composição dos resíduos são passíveis de reciclagem.

Tabela 1- Composição, em porcentagens, do RCC de diversas cidades brasileiras

MATERIAL	ORIGEM					
	São Paulo SP ¹	Salvador BA ²	Recife PE ³	Lençóis Paulista SP ⁴	São Carlos SP ⁵	Macaé RJ ⁶
Concreto e Argamassa	33	53	44	68	29	-
Solo e Areia	32	22	23	7	9	-
Cerâmica	30	14	19	21	40	-
Rochas	-	5	3	-	10	-
Outros	5	6	11	-	12	-
TOTAL DE RCC CLASSE A	95	94	89	96	88	94,9

(1) Brito Filho, 1999, citado por John, 2000. (2) Carneiro et al, 2001, (3) Carneiro, 2005, (4) Manfrinato, 2008 (5) Marques Neto e Schalch, 2006 (6) Costa et al.,(1999)

Fonte: Adaptado de Carneiro (2005)

Em países já desenvolvidos, onde as atividades de renovação de edificações, infraestrutura e espaços urbanos são mais intensas, os resíduos provenientes de demolições apresentam maior participação no computo total dos RCC. A Tabela 2 apresenta dados da participação das atividades de construção e de demolição na geração de resíduos para diversos países:

Tabela 2 - RCC – Participação (%) conforme atividade de construção ou demolição

País	RCC (ton/ano)	% de Resíduo de construção no RCC	% de Resíduo de demolição no RCC	Ano
Alemanha ¹	32,6 milhões	31	69	1994
Estados Unidos ²	31,5 milhões	33	66	1994/1997
Brasil ³	70 milhões*	30-50	50-70	1999
Japão ¹	99 milhões	52	48	1993
Europa Ocidental ⁴	215 milhões	19	81	Previsão 2000

¹ Lauritzen(1994);

² Peng et al.(1997);

³ Pinto (1999), Zordan (1997), John (2000);

⁴ Pera (1996); Hendricks (1993) *apud* Quebaud, Buyle-Bodin (1999);

NOTA: Dados trabalhados pelo autor.

(*) Para esta estimativa foi considerada uma população de 150 milhões de habitantes, com uma geração anual de 0,5 ton/hab.ano, média obtida de algumas cidades brasileiras em Pinto (1999). Ressalta-se que não se trata de uma média representativa.

Fonte: Ângulo, 2000.

2.2.2 Caracterização dos RCC

Alguns estudos discutidos a seguir determinaram a massa unitária dos RCC, em seu estado bruto, e reportaram os valores apresentados na Tabela 3:

Tabela 3 - Massa Unitária do RCC bruto

MASSA UNITÁRIA (kg/m ³)	FONTE
1.000	Ângulo <i>et al.</i> (2011)
1.156	Carneiro <i>et al.</i> (2000)
1.288	Souza (2005)

Souza (2005) determinou a massa unitária fazendo pesagens dos RCC gerados na construção de conjuntos habitacionais populares, calculando a média aritmética das pesagens de RCC no seu estado bruto e chegando ao valor de 1.288 kg/m³.

Ângulo *et al.* (2011) chegou ao valor de 1.000 kg/m³ com base em levantamento de campo. Carneiro *et al.* (2000) fazendo a média da massa unitária do entulho bruto de Salvador chegou ao valor de 1.156 kg/m³.

Observa-se que os valores da massa unitária obtidos pelos autores não diferem consideravelmente entre si. Vale salientar que os RCC variam muito em sua caracterização já que são coletados de diferentes classes e em etapas construtivas diferentes, podendo assim divergir no seu valor final. Logo, para um resultado mais consistente, as pesagens devem ser analisadas durante todo o período da obra e em períodos secos para não ocorrer alteração na pesagem bruta do RCC.

2.3 Classificação de RCC

Os RCC são classificados, para efeito da Resolução nº 307 do CONAMA, (BRASIL, 2002), em quatro classes distintas:

- Classe A: são os resíduos reutilizáveis ou recicláveis, como agregados tais como:
 - a) de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infra-estrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem;
 - b) de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento, etc.), argamassa e concreto;
 - c) de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meio fio, etc.), produzidas nos canteiros de obras.
- Classe B: são os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como: plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras e gesso (*nova redação dada pela Resolução CONAMA nº 431/11*), (BRASIL, 2011);
- Classe C: são os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação (*nova redação dada pela Resolução CONAMA nº 431/11*), (BRASIL, 2011);
- Classe D: são os resíduos perigosos, oriundos do processo da construção, tais como tintas, solventes, óleos e outros, ou aqueles contaminados ou prejudiciais a saúde, oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros, bem como telhas e demais objetos e materiais que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde (*nova redação dada pela Resolução CONAMA nº 348/04*), (BRASIL, 2004).

Em outros países, como nos Estados Unidos, os RCC costumam ser classificados de acordo com sua origem, ou melhor, segundo a atividade específica que o gerou. Assim, de acordo com *The Solid Waste Association of North America* (SWANA, 1993 *apud* PINTO, 1999), os RCC são classificados em:

- Material de obras viárias;
- Material de escavação;
- Material de demolição de edificações;
- Material de construção e renovação de edifícios;

- Material de limpeza de terrenos.

Independentemente da classificação adotada, o certo é que as diversas atividades da construção civil geram resíduos em quantidades e composições diferentes, segundo a fase em que a obra se encontra (PINTO, 1999), ou ainda segundo os métodos construtivos utilizados, incluindo as peculiaridades de cada obra e construtora. Assim, essas características interferem diretamente no tipo e na quantidade de resíduos gerados.

2.4 Impactos Relacionados aos RCC

A deposição irregular dos RCC ocorre em diversos países, como também no Brasil, e tem afetado a qualidade ambiental urbana e os custos de serviços de limpeza para o governo. Os RCC constituem 35% dos resíduos sólidos em todo o mundo (HENDRIKS E PIETERSEN, 2000 *apud* LLATAS, 2011), sendo que a maioria acaba em aterros sanitários, em locais não controlados ou em outros locais inadequados. A deposição irregular do RCC na malha urbana tem sido relacionada com enchentes, causadas por assoreamento de córregos, com prejuízos à paisagem, obstrução de vias de tráfegos e com proliferação de doenças, que, na maioria dos centros urbanos brasileiros, já representa um grave problema que vem se agravando com o crescente adensamento das cidades e a falta de espaço para destinação final desses resíduos (CARNEIRO, 2005).

Um outro impacto ambiental relacionado aos RCC é que o desenvolvimento no setor da construção civil ocasiona aumento nos consumos de energia e de matéria-prima, o que pode determinar efeitos impactantes ao meio ambiente, pela produção de quantidades significativas de RCC (BIDONE, 2001).

Conforme Pinto (1992), a enorme quantidade de resíduos produzida pela indústria da construção civil tem sido notícia freqüente porque vem, há tempos, causando sérios problemas urbanos, sociais e econômicos, trazendo efeitos na qualidade ambiental e nos custos significativos para as administrações municipais, com o recolhimento dos resíduos depositados ilegalmente. O gerenciamento desses resíduos torna-se mais complicado quanto maior for a quantidade produzida.

De acordo com Pinto (1999), há outros impactos significativos decorrentes da elevada geração de RCC, de sua deposição irregular e da atração que estas deposições exercem sobre outros tipos de resíduos sólidos. São atraídos resíduos classificáveis como volumosos, para os quais também não são oferecidas soluções aos geradores (resíduos vegetais e outros não-inertes), que aceleram a deterioração das condições ambientais locais.

Os minerais, compostos por silicatos, aluminatos e carbonatos, em sua maioria advindos das rochas naturais, cimento e cerâmica provenientes do RCC, não representam grandes riscos ambientais em razão das características químicas e minerais semelhantes aos agregados naturais e solos. É por esta razão que muitas vezes os RCC se enquadram em resíduos inertes. Ângulo e John (2006) enfatizam que o poder contaminante dos resíduos provenientes de demolição é maior do que o dos resíduos de construção, uma vez que os primeiros são baseados em sistemas construtivos com diversos tipos de materiais unidos ou até mesmo perigosos, como cimento amianto e pintura à base de chumbo.

Existem, porém, algumas exceções, como é o caso do gesso que é considerado um resíduo não inerte (Classe II-a), e os resíduos de tintas, solventes e óleos, considerados resíduos perigosos (Classe I) de acordo com a NBR 10.004 (ABNT, 2004). Tal classificação é de grande importância para que os resíduos possam receber o tratamento e destinos adequados, sem resultar em riscos ambientais (BERNARDES, 2006).

Evangelista *et al.* (2010) salienta que os impactos acima citados podem ser atenuados através da reciclagem dos RCC no próprio canteiro de obras, uma vez que tal alternativa diminui a quantidade dos resíduos a serem dispostos.

2.5 Taxas de geração de RCC

De acordo com John (2001), a geração dos RCC é anterior ao início de qualquer obra, se observar que a produção de insumos para a construção civil além de consumir recursos naturais também produz resíduos.

Os resíduos de construção são gerados em diferentes fases do empreendimento: fase de construção, fase de manutenção ou reformas e fase de demolição. A geração de resíduo durante a fase de construção é decorrência das perdas nos processos construtivos (FORMOSO *et al.*, 1998). Llatas (2011) salienta que a fase de projeto, geralmente mal elaborado, é a principal causa da geração de RCC.

As informações acerca das perdas e desperdícios inerentes à construção civil eram desconhecidas, por conseguinte, sabia-se menos ainda a respeito da natureza das atividades construtivas, bem como dos agentes da construção e dos resíduos gerados. Atualmente, em face à crescente discussão de questões ambientais com vistas ao desenvolvimento sustentável, nas suas diversas dimensões, além das exigências de mercado, a indústria da construção civil se viu pressionada a adequar seus processos construtivos em busca do uso mais racional de materiais em canteiros de obras (MORAIS, 2006).

Segundo Colombo e Bazzo (2001), de acordo com o controle, as perdas são consideradas inevitáveis (perdas naturais) e evitáveis. Segundo sua natureza, as perdas podem acontecer por superprodução, substituição, espera, transporte, ou no processamento em si, nos estoques, nos movimentos, pela elaboração de produtos defeituosos, e outras, como roubo, vandalismo, acidentes, etc. Conforme a origem, as perdas podem ocorrer no próprio processo produtivo, como nos que o antecedem, como na fabricação de materiais, preparação dos recursos humanos, projetos, planejamento e suprimentos. Observa-se que, em todos os casos, a qualificação do trabalhador está sempre presente.

Em virtude da variabilidade das situações encontradas, os agentes construtores devem ter sua atenção voltada para o reconhecimento dos índices particulares de seu patamar tecnológico, buscando investir em melhorias para conquistar competitividade no mercado e racionalidade no uso dos recursos não-renováveis (PINTO, 1999).

A quantidade de RCC gerado numa obra está diretamente ligada ao processo de gerenciamento de perdas e desperdícios nos canteiros de obras, podendo assim variar em quantidade de acordo com as características de cada obra ou processo construtivo. Em análises feitas por Souza e Agopyan (1999), o desperdício na construção foi estudado em uma investigação bastante abrangente em nível nacional, onde foram

pesquisados 85 canteiros de obras de 75 empresas construtoras em 12 estados brasileiros, medindo o consumo e perdas relativos a 18 tipos de materiais e diversos serviços.

Constatou-se uma variedade grande de desempenho entre uma e outra empresa, tais como perdas mínimas de 2,5% comparáveis aos melhores índices internacionais, ao mesmo tempo que um desperdício elevado (133%) devido às muitas falhas cometidas na empresa. Também foram constatadas diferenças dentro de uma mesma empresa, de um serviço para outro. O estudo mostrou, principalmente, que o desperdício, em média, é muito menor que o legendário e divulgado desperdício de 30%. Por exemplo, no caso do concreto usinado a maior perda registrada foi de 23,34%, a média ficou em 9,59%, e a mediana em 8,41% (SOUZA e AGOPYAN,1999). Assim sendo, na citada investigação, destaca-se um fator de maior relevância que é a quantificação das perdas, e a detecção de onde, e o motivo porque as perdas ocorrem, gerando um banco de dados destas informações.

Ainda, segundo Souza e Agopyan (1999), em análises das quantidades de RCC gerados, percebeu-se emergir a possibilidade de criação de um banco de dados das possíveis melhorias dos diversos fatores que geram as perdas, entendendo-se que não basta medir, saber quanto se perde, mas sim, a partir dos estudos já feitos, buscar alternativas para solução. Estas alternativas devem ser partilhadas por todo o setor, e não serem apenas soluções únicas de cada empresa. Ainda que cientes das especificidades locais percebe-se a possibilidade de se pensar em nível estratégico na busca da solução ou minimização deste problema e de suas implicações sociais, sendo assim de extrema importância a quantificação mais real possível dos RCC, em diversos processos construtivos.

Quantitativamente, a geração de RCC é diferente entre várias localidades, devido a diversos fatores, como: número de habitantes, nível educacional, costumes da população, poder aquisitivo, leis e regulamentações específicas, processos construtivos, incluindo as peculiaridades de cada construtora. Assim, essas características interferem diretamente no tipo e quantidade de resíduo gerado. Segundo Swana (1993) citado por Pinto (1999), a investigação da origem dos RCC é importante

para a qualificação e a quantificação dos volumes gerados. Por isto, algumas metodologias vêm sendo desenvolvidas e aplicadas nas investigações sobre os RCC.

O valor da taxa de geração de RCC depende da intensidade da atividade de construção em cada local, da tecnologia empregada e das taxas de desperdícios e manutenção (JOHN, 2000). Vários estudos foram realizados visando obter a taxa de geração de RCC em diversas localidades do Brasil e do mundo, conforme apresentado na Tabela 4.

Tabela 4 - Geração dos RCC relativa à geração de RSU e Geração de RCC em localidades diversas, em Mt/ano e tonelada/hab.ano

Localidades	Participação dos RCC na Massa Total de RSU	Mt/ano	Taxa de Geração (T/Hab.ano)	Fonte
Europa Ocidental	~66%	-	0,7 à 1,0	LAURITZEN (1994) apud Pinto (1999)
Suíça	~45%	-	~0,45	Milani (1990) apud Pinto (1999)
Suécia	-	1,2 - 6,0	0,136 à 0,680	Tolstoy, Borklund & Carlson (1998) apud Manfrinato (2008); John (2000)
Itália	-	35 - 40	0,6 à 0,69	Lauritzen (1998) apud Manfrinato (2008)
Japão	-	99	~0,68	Hong Kong, 1993 apud Pinto (1999)
Hong Kong	-	-	~1,5	Hong Kong, 1994 apud Pinto (1999)
EUA	39%	136 - 171	0,463 à 0,584	EPA (1998); Peng, Grosskopf, Kibert (1994); John (2000)
Alemanha	> 60%	79 - 300	0,963 à 3,658	Lauritzen (1998); EU (1999); John (2000)
Bélgica	-	7,5 - 34,7	0,735 à 3,359	John (2000)
Portugal	-	3,2	0,325	John (2000)
Dinamarca	-	2,3 - 10,7	0,440 à 2,010	John (2000)
Canadá	-	-	0,69	Ruberg (1999) apud Violin(2009)
Holanda	-	12,8-20,2	0,48	Ruberg (1999) apud Violin(2009); John (2000)
México	-	-	0,33	Ruberg (1999) apud Violin(2009)
Brasil	-	69	0,23 à 0,76	Pinto (1999); John (2000)
Santo André - SP	54%	-	0,51	Pinto (1999)
São José do Rio Preto - SP	58%	-	0,66	Pinto (1999)
São José dos Campus - SP	67%	-	0,47	Pinto (1999)
Ribeirão Preto - SP	70%	-	0,71	Pinto (1999)
Jundiaí - SP	62%	-	0,76	Pinto (1999)
Campinas - SP	64%	-	0,62	Paulella; Scapim (1996) apud Pinto(1999)
Governador Valadares - MG	-	-	0,338	Athayde Junior <i>et al.</i> (2004)
Belo Horizonte - MG	54%	-	0,34	SLU,(1999) apud Pinto (1999)
Vitória da Conquista - BA	-	-	0,4	Pinto (1999)
Maceió	-	-	0,33	Ruberg (1999) apud Violin(2009)
Curitiba	-	-	0,24	Ruberg (1999) apud Violin(2009)
Rio de Janeiro	-	-	0,32	Ruberg (1999) apud Violin(2009)
Salvador - BA	41%	-	0,23	Limpurb,(1999) apud Pinto (1999)
João Pessoa - PB	-	-	0,495	Fonseca <i>et al.</i> (2007)

Fonte: Adaptado de Pinto (1999); Violin (2009); Oliveira, *et al.* (2011); Athayde Junior *et al.* (2004); John, (2000)

Segundo Pinto (1999), os resíduos oriundos de atividades construtivas são normalmente gerados em grandes volumes, representando assim uma parcela significativa dos RSU. Na Tabela 4 são apresentados dados da participação dos RCC na composição dos RSU em diversas localidades. Observa-se que no caso do Brasil, tal percentual varia de 41% (Salvador/ BA) a 70% (Ribeirão Preto/ SP), ficando a participação média em torno de 59%, não diferindo muito dos valores encontrados para outros países, como o caso da Alemanha, cuja participação é de 60%.

A Tabela 4 também apresenta estimativas de geração de RCC em T/hab.ano em alguns países, que variam entre 130 e 3000 kg/hab.ano. Para o Brasil as estimativas de Pinto (1999) e de outros autores para cidades de Jundiaí, Santo André, São José dos Campos, Belo Horizonte, Ribeirão Preto, Campinas, Salvador e Vitória da Conquista, as estimativas variam entre 230 kg/hab.ano até 760 kg/hab.ano.

Ressalta-se que mais caracterizações são necessárias para se adotar um valor mais representativo, além disso, podem existir diferenças significativas da média, por exemplo, em relação à geração de um município de pequeno porte.

Conforme enfatizado por Oliveira *et al.* (2011) as taxas, tais como as apresentadas na Tabela 4, são de utilização limitada para estimativas futuras, uma vez que o ritmo da construção civil é extremamente atrelado ao momento econômico e por isso retrata a geração de RCC apenas naquele período de estudo ou levantamento.

Por outro lado, as taxas apresentadas na Tabela 5 são reportadas em unidades de massa por unidade de área construída, o que desvincula do momento econômico de uma dada época, além de ser independente do quantitativo populacional (OLIVEIRA *et al.*, 2011).

Tabela 5 - Geração de RCC em kg/m²

LOCALIDADES	GERAÇÃO ESTIMADA (kg/m ²)	FONTE
Países Desenvolvidos	< 100	Monteiro (2001)
Brasil	300	Monteiro (2001)
Espanha	107,6	Solís-Guzman <i>et al.</i> (2009)
São Paulo	150	Pinto (1999)
São Paulo	49,58	Andrade (2001)
São Paulo	104 - 115	Careli (2008)
Recife - PE	69 - 86	Carneiro,(2005)
Uberlândia - MG	89,68	Souza, 2005
São Carlos - SP	137,02	Marques Neto e Schalch (2010)

Nas análises dos métodos de quantificação dos RCC apresentados por diversos autores na Tabela 5, ressalta-se que, para a obtenção do mesmo, foram utilizados diversos métodos e cada análise possui características e particularidades diferentes devendo ser avaliadas para validação e confiabilidade na obtenção da taxa de geração de RCC.

Para os valores citados por Monteiro *et al.* (2001) de <100 e 300 kg/m² não há indicação dos procedimentos metodológicos seguidos para obtenção dos mesmos.

No valor de 150 kg/m², proposto por Pinto (1999), foi considerada uma massa estimada para as edificações executadas predominantemente por processos convencionais, de 1.200 kg/m², e uma perda média de materiais nos processos construtivos, em relação à massa de materiais levados ao canteiro de obra de 25%, com um percentual de perdas de materiais, removido como RCC, durante o transcorrer da obra de 50%, chegando-se assim a taxa esperada de 150 kg/m² de área construída.

Com a mesma finalidade de obter um índice médio de geração de RCC por m² construído, Carneiro (2005) chegou ao intervalo entre 69,28 e 86,41kg/m² analisando dados referentes ao volume de RCC gerados em 3 canteiros de obras. Para efeito dessa estimativa foram admitidas duas hipóteses para a massa estimada das edificações: (i) a primeira levando-se em consideração o somatório das cargas de todos os pilares de uma das obras visitadas, dividindo-se este valor pela área total construída e, por fim, subtraindo deste a parcela de carga referente à sobrecarga (150 kg/m²), já

que esta ainda não existe na etapa de construção, obtendo-se assim um índice de 1060,29 kg/m²; (ii) a segunda hipótese foi à adoção de um valor médio estimado por engenheiros calculistas atuantes na região do estudo, para edificações aporticadas de concreto, de aproximadamente 850 kg/m² (não sendo considerada a parcela de carga da sobrecarga). Assim, considerando um índice médio de perdas de materiais na forma de RCC de 8,15% e fazendo o cruzamento de dados entre a massa estimada para a edificação e as perdas, obteve-se o valor de 86,41kg/m² e 69,28 kg/m², utilizando da mesma forma dados estimados.

Andrade *et al.* (2001) fizeram uma estimativa de entulho por unidade de serviço. Para o cálculo da massa de RCC por metro quadrado, estes autores, utilizando-se de indicadores que relacionam a quantidade de serviço executado à área de piso de edificação, e multiplicando-se os valores de entulho por metro quadrado de piso pela massa de RCC por unidade de material, chegaram ao valor de 49,58 kg/m².

Careli (2008) fez a separação do RCC por tipo de resíduos e assumiu uma estimativa de densidade média por tipo de resíduo considerando a forma como os diferentes tipos de resíduos são acondicionados e coletados, resultando nos valores para massa de resíduos por m² de 115,82 kg/m² e 104,49 kg/m² para duas obras que foram analisadas.

Para obtenção da taxa calculada por Souza (2005), foram quantificados RCC gerados de 50 unidades habitacionais, de 44,52 m² cada, obtendo-se através da informação sobre os volumes dos cones dos montes de RCC considerando-se um volume de 3,10m³ por unidade habitacional e massa unitária média de 1.288kg/m³, obteve-se o valor de 89,68kg/m² de RCC gerado. Esse dado, em se tratando de habitação popular, pode variar muito uma vez que as variedades e quantidades de material utilizadas nestas obras são bem menores que as utilizadas em obras de porte maiores, já que nas habitações populares não há fôrmas, laje de forro, revestimento cerâmico, gesso, calçadas, áreas comuns, entre outros serviços que não são executados.

Marques Neto e Schalch (2010) chegou à taxa quantificando os RCC de 5 obras, sendo uma delas obra de reforma. O mesmo ainda considerou a massa unitária de 0,6 t/m³ chegando à taxa de 137,02 kg/m². Neste estudo observa-se um valor atípico para a

massa unitária, já que o mesmo é inferior a 1t/m³ em comparação com os demais autores (Tabela 3).

Solís-Guzman *et al.* (2009) chegou a uma taxa de 307,6 kg/m² considerando o movimento de terra, e 107,6 kg/m² sem o movimento de terra, aplicando o modelo de quantificação utilizando coeficientes estimados de geração de RCC por etapa dos serviços a serem executados, para construção de prédios de quatro andares, com 1.600 m² de área. Todos estes coeficientes foram estimados a partir dados provenientes da Andalusia Construction Costs Database.

Percebe-se que alguns autores procuraram estimar a taxa de geração de RCC de forma indireta, através de considerações e outros parâmetros, tais como índices de perdas. Já os estudos relatados por Souza (2005) e Marques Neto e Schalch (2010) utilizaram métodos de medição direta dos resíduos gerados, sendo portanto mais representativos da realidade.

Observa-se na Tabela 6 que, os valores das taxas e outras características dos estudos relatados por Souza (2005) e Marques Neto e Schalch (2010).

Tabela 6 - Estudos da determinação da taxa de RCC com base em medição direta

FONTE	ÁREA CONSTRUÍDA DA AMOSTRA (m ²)	MASSA UNITÁRIA DO RCC (kg/m ³)	TAXA DE GERAÇÃO (kg/m ²)
Souza (2005)	2.226,0	1.288,0	89,68
Marques Neto e Schalch(2010)	1.795,3	600,0	137,02

A literatura revela que um dos principais obstáculos do gerenciamento dos RCC é a falta de dados, estudos e documentação sobre as taxas de geração (LLATAS, 2011).

A partir dessas considerações, conclui-se que a presente pesquisa será de extrema importância, pois objetiva estabelecer uma taxa de geração de RCC mais confiável e de obtenção mais precisa, eliminando qualquer fator que possa interferir nos resultados finais do valor da taxa de geração de RCC.

2.6 Situação dos RCC em João Pessoa

Devido ao crescente processo de urbanização, com o elevado índice de crescimento em edificações, em virtude do crescimento populacional, o município de João Pessoa registra progressivamente um aumento no índice de geração de RCC, que, por falta de regulação há alguns anos, vinha sendo destinado clandestinamente em “bota-foras” de forma irregular (FONSECA *et al.*, 2007).

Para destinação final adequada dos resíduos de construção e demolição, a cidade dispunha, até o ano de 2007, do Aterro Metropolitano de João Pessoa, situado à margem da BR 101, em Mussuré-PB, distante cerca de 20 km do centro urbano da cidade. O Aterro possui uma área total de 100 ha e área útil de 30 ha, todavia, apenas uma pequena parte dessa área era disponibilizada para recepção de RCC, os quais eram misturados com o material de escavação das células e aproveitados para recobrimento das mesmas (FONSECA *et al.*, 2007).

O município já enfrenta a deposição irregular destes resíduos que, ao longo de vias e logradouros públicos e áreas de proteção permanente, como encostas e leito de corpos hídricos dentre outros, vêm sendo depositados de forma irresponsável, ocasionando transtornos, conforme Figura 2:

Figura 2 - Deposição irregular de resíduos ao longo de vias e logradouros públicos.



Fonte: Arquivo do próprio autor

A partir dessa situação, e visando atender às determinações da Resolução nº 307 do CONAMA, a Prefeitura Municipal de João Pessoa publicou a Lei no 11.176, de 10 de outubro de 2007, que institui o Sistema de Gestão Sustentável dos Resíduos de Construção Civil e Demolições e o Plano Integrado de Gerenciamento de Resíduos de Construção Civil e Demolições (João Pessoa, 2007). Esse documento aponta e descreve as ações relativas ao manejo de Resíduos da Construção Civil e Demolição, contemplando os aspectos referentes à geração, segregação, acondicionamento, coleta, armazenamento, transporte, tratamento e disposição final, proteção da saúde pública e do meio ambiente, visando a:

- Adequação da cidade à nova política estabelecida pelo Ministério das Cidades e Ministérios afins ao assunto, principalmente no que diz respeito a financiamentos, conforme o que determina esse Ministério;
- Proteção e conservação do meio ambiente com consequente aumento da qualidade de vida da população;
- Uso mais racional e econômico dos recursos naturais: renováveis e não renováveis;
- Destinação final de forma adequada estabelecendo corretos parâmetros sanitários e ambientais.

Dentre os vários artigos da Lei Municipal nº 11.176/2007, merece destaque os seguintes:

- Obrigatoriedade na elaboração e implementação do Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil e Demolição (PGRCD), para os geradores, públicos ou privados, cujos empreendimentos requeiram a expedição de alvará;
- Obrigatoriedade da apresentação do Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil e Demolição, para os participantes de licitações públicas, bem como da comprovação da regularidade dos agentes responsáveis pelas atividades de transporte, triagem e destinação de resíduos, no ato da assinatura de contratos públicos;

- Proibição da disposição dos RCD em encostas, corpos d água, lotes de terrenos não identificados, passeios e vias públicas, áreas não licenciadas e áreas protegidas pela lei;
- Definição de grandes volumes de RCD como aqueles contidos em volumes superiores a 2,5m³ e de pequenos volumes àqueles inferiores a 2,5m³;
- Exigência, para empreendimentos geradores de resíduos de construção, da apresentação dos documentos de controle de transporte de resíduos(CTR) ou outros documentos de contratação de serviços indicados no PGRCD, comprovadores da correta triagem, transporte e destinação dos resíduos gerados, na ocasião da liberação do habite-se pelo órgão competente;
- Instituição do Plano Integrado de Gerenciamento de Resíduos da Construção civil e Demolição, cujo objetivo é a facilitação da correta disposição, o disciplinamento dos fluxos e dos agentes envolvidos e a destinação adequada dos RCC gerados no município.

Visando atender aos grandes geradores, a Prefeitura Municipal estabeleceu que a destinação do RCC deverá ocorrer para USIBEN-Usina de Triagem e Beneficiamento ou pontos de coleta definidos pela prefeitura.

A Prefeitura Municipal, sob a responsabilidade da EMLUR, implantou, em novembro de 2007, a Usina de Triagem e Beneficiamento de Resíduos da Construção Civil e Demolição (USIBEN), que fica localizada no bairro de José Américo e tem capacidade para gerar 20 toneladas por hora de agregados reciclados. A usina tem como principal finalidade fazer a triagem e reciclagem dos RCC procedentes das atividades da construção de edificações, reformas, ampliações, demolições e elevações de muros em terrenos baldios.

A maioria desses materiais, quando separados e reciclados na usina, se transformam em matéria-prima de qualidade excelente devido às suas características físico-químicas, tendo um ótimo potencial na fabricação de pré-moldados, bem como de grande aceitação e utilização como sub-base de vias públicas destinado ao uso geral na Secretaria de Infraestrutura de João Pessoa-PB (FONSECA *et al.* 2007).

Na Figura 3 pode-se observar a Usina de Triagem e Beneficiamento de Resíduos da Construção Civil de João Pessoa:

Figura 3 - Usina de Triagem e Beneficiamento de RCC de João Pessoa



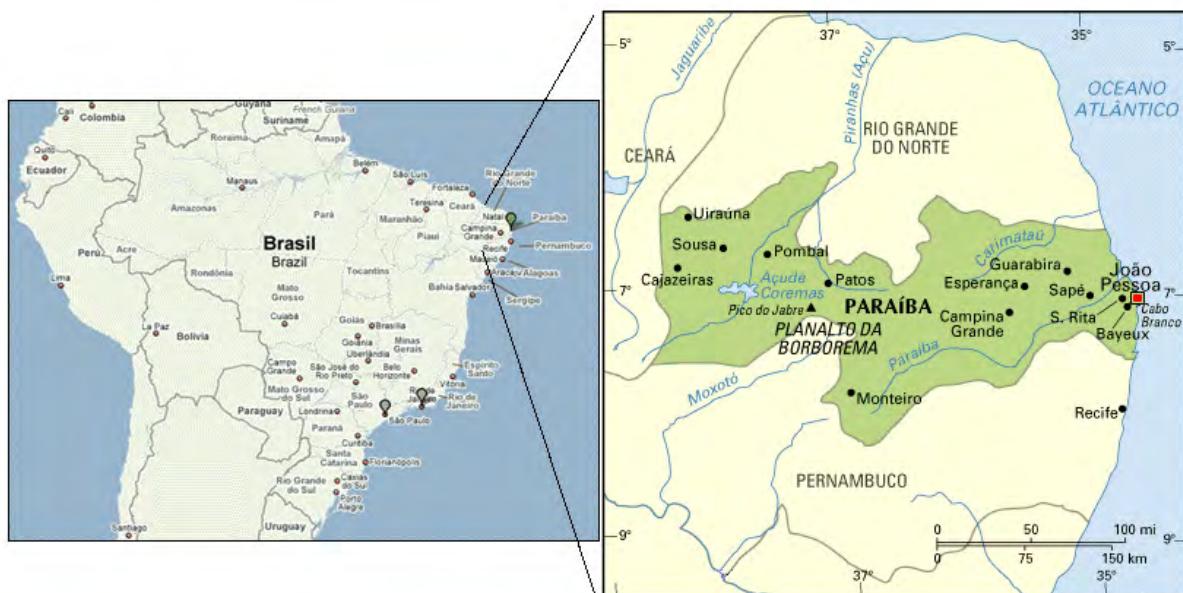
Fonte: Arquivo do próprio autor

CAPÍTULO 3 - METODOLOGIA

3.1 Delimitação da área de estudo

A pesquisa foi realizada na cidade de João Pessoa, capital do estado da Paraíba, localizada na porção mais oriental das Américas e do Brasil, entre as coordenadas 7°14'29" de Latitude Sul / 34°58'36" de Longitude Oeste e 7°03'18" de Latitude Sul / 34°47'36" de Longitude Oeste. O município de João Pessoa limita-se ao norte com o município de Cabedelo através do rio Jaguaribe; ao sul com o município do Conde e pelo rio Gramame; a leste com o Oceano Atlântico; e, a oeste com os municípios de Bayeux pelo rio Sanhauá e Santa Rita pelos rios Mumbaba e Paraíba (JOÃO PESSOA, 2010). A Figura 4 ilustra a localização da cidade de João Pessoa no mapa da Paraíba, bem como a localização da Paraíba no mapa do Brasil.

Figura 4 - Brasil, Paraíba e o Município de João Pessoa



Fonte: <http://www3.di.ufpb.br/svr2008/site/pt/?p=1>

A Figura 5 é uma vista dos bairros Cabo Branco, Tambaú, Miramar e Manaíra em 2012, evidenciando um elevado índice de edificações verticais, tanto em uso como em construção.

Figura 5 - Crescimento de edificações verticais



(a) Orla de João Pessoa

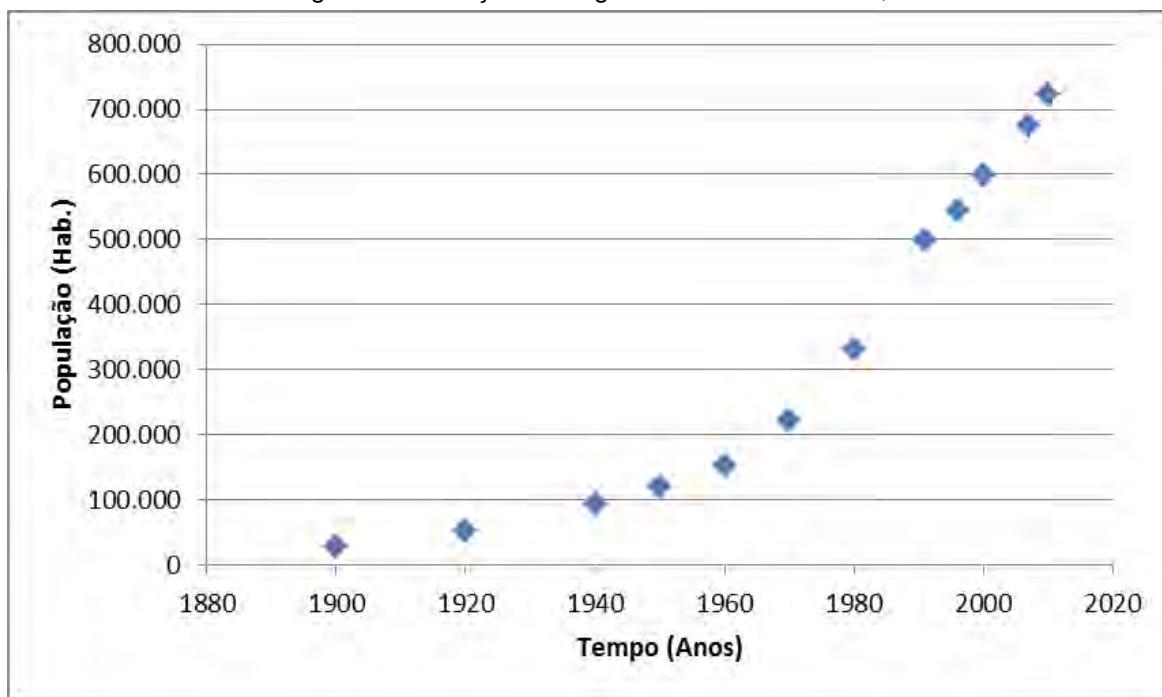


(b) Bairro de Manaíra

Fonte: Arquivo do próprio autor

João Pessoa possui uma área total de 210,45 km² (0,3% da superfície do Estado) e tem, atualmente, 64 bairros com uma área bruta de 160,76 km² e 49,69 km² de área verde e preservação ambiental (PMJP, 2010). De acordo com dados do censo 2010, a população do município no ano de 2010 era de 723.515 habitantes (Figura 3), com uma taxa média anual de crescimento de 1,17%, no período de 2000 a 2010, e 92,62% do seu contingente populacional localizado em área estritamente urbana (IBGE, 2010).

Figura 6 - Evolução demográfica em João Pessoa, PB



Fonte: Adaptado de IBGE (2010)

A partir da Figura 6, apresentada anteriormente, pode-se concluir que João Pessoa é uma cidade que vem apresentando persistente populacional, resultando em um processo dinâmico de expansão ou renovação urbana, e que, de acordo com o Plano Integrado de Gerenciamento de Resíduos de Construção e Demolição do Município de João Pessoa (FONSECA *et al.* 2007, p. 8), “(...) devido ao crescente processo de urbanização, apresenta um elevado índice de geração de resíduos da construção civil e demolição, já necessitando, com urgência, de medidas de controle, tanto de gerenciamento, quanto de soluções adequadas em caráter permanente.”

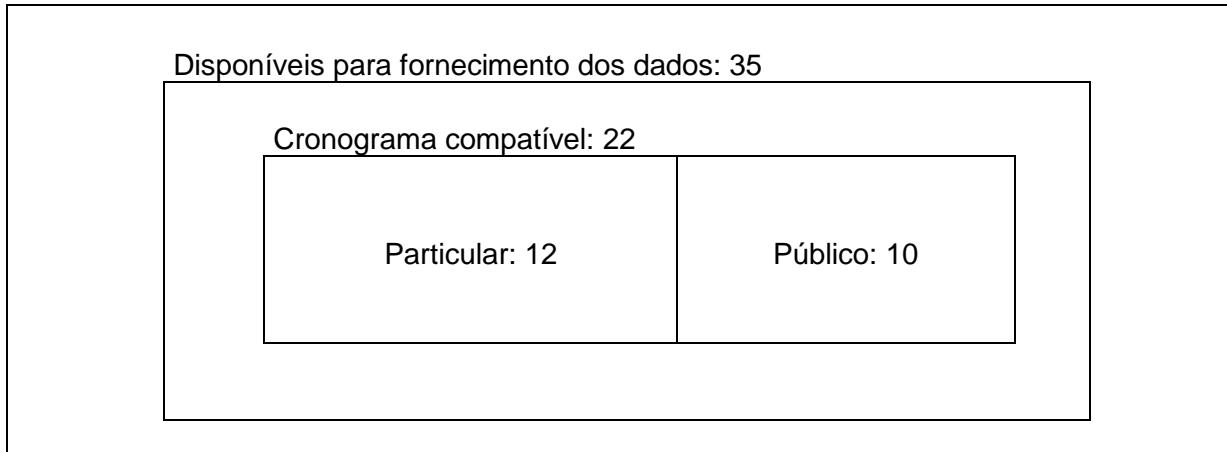
3.2 Descrições das Obras Estudadas

Pelo método de estimação em base volumétrica foi feita a análise da quantidade de RCC gerada no município de João Pessoa-PB para determinação da taxa de geração em edificações.

Foram escolhidas obras cujo cronograma de execução fosse compatível com o período da presente pesquisa (abril 2010 a março 2012), obras estas localizadas em João Pessoa e que tivessem disponibilidade para o acesso da coleta dos dados, conforme esquematizado na Figura 7.

Figura 7 – Delimitação da amostra de obras

Obras visitadas: 75



Fonte: Elaborado pelo autor

Para a coleta das características de cada obra e do acompanhamento de volume gerado de RCC, foi entregue para cada empresa participante da amostra uma ficha de registro do volume de descarte dos RCC ao longo de todo o cronograma de execução da construção, apresentado no Quadro 1.

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA E AMBIENTAL - PPGEUA
Pesquisa: TAXA DE GERAÇÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL EM JOÃO PESSOA
Mestrando: Ricardo Vasconcelos Gomes da Costa

Orientador: Gilson Barbosa Athayde Júnior

Construtora:

Obra (Código):

Área construída:

Descrição da obra:

Inicio da obra:

Término (Efetivo/ Previsto):

Geração de RCC

Quadro 1 - Ficha de acompanhamento para aquisição de dados junto às construtoras

A lista das obras que compuseram a amostra está descrita na Tabela 7, bem como sua finalidade, área a ser construída e período de previsto para início e término. Com base nessas obras, foi determinada a massa dos RCC gerados através do método de estimação em base volumétrica.

Tabela 7- Relação das obras estudadas para o acompanhamento da geração dos RCC

RELAÇÃO DAS OBRAS ESTUDADAS - ACOMPANHAMENTO DA GERAÇÃO DOS RCC					
Obra	Finalidade	Usuário	Área Construída (m ²)	Ínicio	Término Previsto
1	Residencial	Particular	985,50	jun/10	mar/11
2	Residencial	Particular	12.340,45	ago/09	jan/12
3	Residencial	Particular	43.858,80	dez/09	mar/12
4	Residencial	Particular	16.976,51	set/09	jan/12
5	Residencial	Particular	1.250,00	jan/09	ago/11
6	Residencial	Particular	950,00	ago/09	jul/11
7	Residencial	Particular	1.780,00	jul/10	ago/11
8	Residencial	Particular	1.949,00	ago/10	out/11
9	Residencial	Particular	1.194,50	dez/09	nov/11
10	Residencial	Particular	998,00	jul/09	jul/11
11	Residencial	Particular	1.450,30	mar/09	jan/12
12	Residencial	Particular	70,00	mar/11	set/11
13	Residencial	Particular	95,00	jan/11	jul/11
14	Residencial	Particular	150,00	fev/11	ago/11
15	Residencial	Particular	595,25	jul/11	fev/12
16	Educacional	Público	2.299,02	jan/09	dez/09
17	Educacional	Público	997,64	fev/09	mai/10
18	Educacional	Público	312,00	jan/10	abr/12
19	Educacional	Público	840,00	nov/10	jul/11
20	Educacional	Público	445,56	mar/10	fev/12
21	Educacional	Público	232,45	abr/10	mar/12
22	Educacional	Público	394,30	mar/10	mar/12
23	Educacional	Público	1154,3	abr/10	fev/12
24	Educacional	Público	754,93	fev/11	mar/12
25	Educacional	Público	1.979,00	jan/10	jan/12
26	Educacional	Público	1.104,00	fev/10	nov/12
27	Educacional	Público	1.399,64	set/09	nov/12
28	Educacional	Público	5.170,51	fev/10	dez/12
29	Educacional	Público	4.997,00	dez/09	nov/12
30	Educacional	Público	850,00	set/09	jan/12
31	Educacional	Público	474,00	mar/10	fev/12
32	Educacional	Público	335,00	fev/10	nov/12
33	Educacional	Público	504,00	dez/10	nov/12
34	Serviços de Saúde	Público	455,40	mai/10	fev/11
35	Serviços de Saúde	Público	3.051,51	fev/10	fev/11

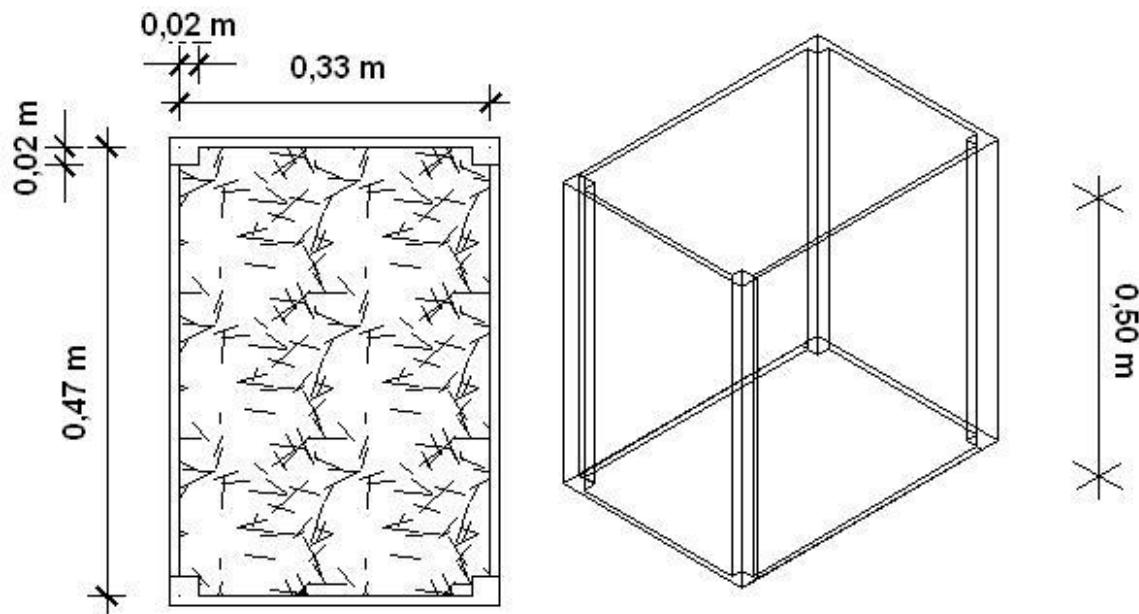
Fonte: Elaborado pelo autor

Portanto, a pesquisa foi realizada em 35 obras, as quais possuem áreas de construção diferentes e sistemas construtivos diversos, tais como: obras particulares (15) e obras públicas (10).

3.3 Determinação da Massa Unitária dos RCC

A massa unitária foi calculada com os RCC gerados nas obras 20, 21, 24 e 35 utilizando um recipiente feito no próprio canteiro de obra, com volume de $0,075575\text{m}^3$, calculado de acordo com as dimensões da Figura 8, e uma balança Filizola com capacidade para 150 kg e precisão de 0,1 kg. Foram feitas 20 pesagens para o cálculo da massa unitária, sendo 5 pesagens em cada obra e com RCC bruto ao longo da execução da edificação.

Figura 8 - Desenho esquemático da caixa utilizada para determinação da massa unitária do RCC



Fonte: Arquivo do próprio autor

Figura 9 - Preenchimento do recipiente com RCC para posterior pesagem



Fonte: Arquivo do próprio autor.

Figura 10 - Balança e recipiente utilizado para pesagem dos RCC das Obras



Fonte: Arquivo do próprio autor

Durante a pesagem, foram tomadas devidas precauções para a obtenção de um valor representativo da massa unitária, coletando RCC de diferentes classes e em etapas construtivas diferentes e em períodos secos, para não ocorrer alteração da massa unitária devido à incorporação de umidade. O conteúdo da caixa era nivelado com serrafo antes da pesagem.

3.4 Levantamento do Volume de RCC

Para anotação da ficha de acompanhamento, o engenheiro da obra foi orientado a preencher a mesma, colocando a descrição da obra, dados referentes à área construída, quantidade de RCC descartado com sua respectiva data de saída.

O transporte, utilizado pelas construtoras na destinação final e descarte dos RCC, era geralmente feito em containers estacionários de empresas terceirizadas ou por caminhões basculantes contratados ou da própria empresa e de volume conhecido, conforme Figura 11:

Figura 11 - Forma de transporte dos RCC de diferentes capacidades



(a) Transporte com capacidade de 12m³.



(b) Transporte com capacidade de 7,6m³.



(c) Caçamba com capacidade de 4,0 - 4,5m³.

Fonte: Arquivo do próprio autor

A partir do volume de RCC descartado informado pelas empresas, ficou conhecida sua massa.

Para a anotação dos dados de volume gerados foram consideradas apenas as obras de construção, uma vez que em obras de reforma o grau de variabilidade de geração de RCC é elevado, podendo variar desde valores bem pequenos até a

completa demolição da edificação. Sendo assim, um estudo para determinação da taxa de geração de RCC em tais situações seria bastante difícil e pouco representativo. No mesmo sentido, na presente pesquisa, o volume de RCC não se aplicou ao volume correspondente à escavação, que pode variar bastante conforme o caso, além de poder ser geralmente aproveitado na própria obra ou transportado para outra obra para a reutilização do mesmo.

O volume gerado de RCC foi informado pela própria construtora. Apenas as obras 16, 19, 21, 22, 24 e 35 foram tomadas como obras controle, nas quais o autor da dissertação atuou como fiscal. No exercício desta função, o mestrandoo efetuou visitas diárias nas obras acima citadas, acompanhando de perto o descarte de RCC, excluindo a possibilidade de informação imprecisa por parte da construtora. Em anexo, encontram-se as CTR da obra 24 (ANEXO A), exemplificando a forma de acompanhamento dos RCC ao longo de toda as obras controle.

3.5 Taxa de Geração de RCC (kg/m²)

A taxa de geração dos RCC foi obtida a partir da razão entre a sua massa e a área construída de cada obra (Eq.1). Para se encontrar a média dessas taxas, foi feita a média ponderada, através do somatório da multiplicação das taxas pelas respectivas áreas e posteriormente dividindo-o pelo somatório das áreas (Eq.2).

$$Tx = \frac{\text{Massa de RCC (kg)}}{\text{Área Construída (m}^2\text{)}} \quad (1)$$

$$Tx_p = \frac{\sum_1^n T_i A_i}{\sum_1^n A_i} \quad (2)$$

Tx = Taxa de Geração de RCC

Tx_p = Taxa Ponderada de Geração de RCC

Utilizou-se a média ponderada para se corrigir distorções devido à diferença de porte das obras.

De posse dos dados levantados, fez-se uma análise observando assim o comportamento da geração dos resíduos nas diversas etapas construtivas da obra e

chegando ao final da pesquisa com a taxa de geração de RCC em quilograma por metro quadrado de área construída (kg/m²).

3.6 Tratamento Estatístico dos Dados

Para validação dos dados, foi efetuada a análise de variância, que é um procedimento estatístico para testes de hipóteses na comparação das médias de dois ou mais grupos amostrais. Este teste produz uma estatística ou razão F, cujo numerador representa a *variação entre* os grupos, e cujo denominador contém uma estimativa da *variação dentro* dos grupos.

Os grupos a serem formados foram referentes a dados da taxa média das obras controle (grupo 1) com os dados das taxas médias das demais obras analisadas (grupo 2). Também foram comparados grupos conforme o usuário: particular (grupo 3) e público (grupo 4).

O objetivo do cálculo é obter o valor de F dado pela relação (Eq. 3):

$$F = \frac{\text{Variação entre}}{\text{Variação dentro}} = \frac{s_b^2}{s_w^2} \quad (3)$$

O procedimento do teste de hipóteses que deve ser estabelecido é o seguinte:

- A hipótese nula H_0 afirma que as k médias tem o mesmo valor de média;
- A hipótese alternativa H_1 afirma que nem todas são iguais, pelo menos duas são diferentes, não servindo assim para análise divergindo assim os valores das médias.

Para *variação dentro* tem-se que (Eq. 4):

$$S_w^2 = \frac{\sum_{j=1}^k (n_j - 1) s_j^2}{n_T - k} \quad (4)$$

Onde, k é o número de amostras, n_T número total de elementos observados e $n_T - k$ o número de graus de liberdade.

Para variância entre tem-se que (Eq. 5):

$$S_b^2 = \frac{\sum_{j=1}^k n_j \times (\bar{X}_j - \bar{\bar{X}})^2}{k-1} \quad (5)$$

Sendo $\bar{\bar{X}}$ o valor da grande média usando a média ponderada das médias das k , sendo o peso da ponderação ou tamanho da amostra dada pela expressão (Eq. 6):

$$\bar{\bar{X}} = \sum_{i=1}^k \bar{X}_i \frac{n_i}{n_T} \quad (6)$$

Calculado o valor de F dado pela equação (3) e utilizando as demais equações (4) e (5), o passo seguinte foi comparar à estatística F com o valor F_c crítico da distribuição F , que foi determinado a partir da relação do grau de liberdade da variável do numerador (v_1) e grau de liberdade da variável do denominador (v_2) observado na tabela de Fisher, para um nível de significância $\alpha = 5\%$. Sendo $v_1 = k - 1$ e $v_2 = n_T - k$.

As formas equivalentes de concluir aplicando à estatística F são:

- Se o valor da estatística F é menor que o valor crítico da distribuição F ($F < F_c$), então pode-se dizer que :

- As médias amostrais não são significativamente diferentes entre si;
- A hipótese nula H_0 deve ser aceita;
- É razoável aceitar que a diferença entre os valores das médias das amostras seja devido somente à variabilidade amostral;
- O resultado não é estatisticamente significante;

- Se o valor da estatística F é maior que o valor crítico da distribuição F ($F > F_c$), então pode-se dizer que :

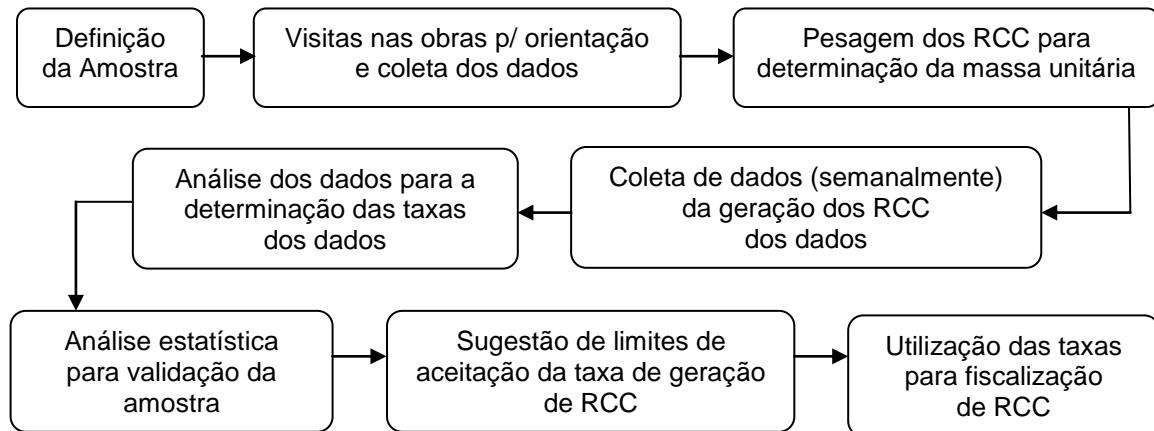
- As médias amostrais são significativamente diferentes entre si;
- A hipótese alternativa H_1 deve ser aceita;

- Não é razoável aceitar que a diferença entre os valores das médias das amostras seja devido somente à variabilidade amostral;
- O resultado é estatisticamente significante;

A partir desses dados, conclui-se que se a análise estatística do F dos dados da taxa média das obras controle com os dados das taxas médias das demais obras analisadas, for menor do que o F_c pode-se considerar que é razoável aceitar que a diferença entre os valores das médias das amostras seja devido somente à variabilidade amostral, considerando assim as demais amostras como confiáveis. A comparação entre o F e o F_c nos permitirá saber se a hipótese H_0 deve ser aceita ou rejeitada.

3.7 Fluxograma da pesquisa

A partir dos métodos levantados anteriormente, foi elaborado um fluxo que engloba as etapas envolvidas no processo metodológico, conforme Fluxograma abaixo:



CAPÍTULO 4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Massa Unitária do RCC

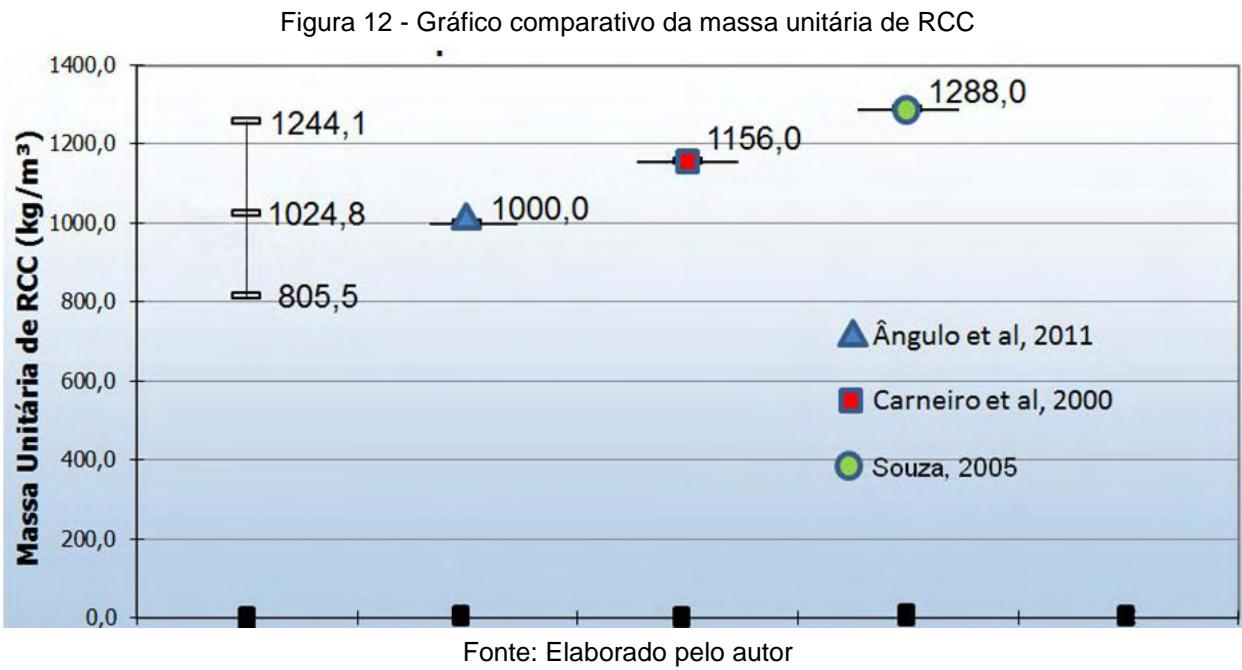
Na Tabela 8 são apresentados os resultados das pesagens que foram utilizados para determinar a massa unitária de RCC:

Tabela 8 - Amostras para cálculo da massa unitária do RCC

Amostras	Obra	Peso (kg)	Massa Unitária (kg/m ³)
1	16	62,8	831,0
2		85,9	1136,6
3		75,5	999,0
4		74,7	988,4
5		61,7	816,4
6	19	77,3	1022,8
7		72,4	958,0
8		68,2	902,4
9		72,3	956,7
10		83,5	1104,9
11	24	78,9	1044,0
12		77,6	1026,8
13		82,3	1089,0
14		81,1	1073,1
15		78,2	1034,7
16	35	71,5	946,1
17		80,2	1061,2
18		92,5	1223,9
19		95,6	1265,0
20		76,8	1016,2
MÉDIA		-	1024,8 ≈ 1025
Desvio Padrão		-	111,9
LS 95 %		-	1244,1
LI 95 %		-	805,5

Fonte: Elaborada pelo autor

A Figura 12 estabelece uma comparação dos limites 95% de confiança e a média da massa unitária encontrados, com os valores reportados na literatura:



A média aritmética da massa unitária das 20 amostras é 1.024,8 kg/m^3 , valor que se aproxima dos valores reportados na literatura conforme apresentado na Tabela 3. Este valor encontrado será utilizado no cálculo da taxa de geração de RCC de João Pessoa.

4.2 Taxa de Geração de RCC

Das 35 obras consideradas, foram utilizadas para o cálculo da taxa de geração de RCC apenas aquelas finalizadas até a data de 23/03/2012, que corresponderam a 22 obras. Juntas, essas 22 obras somaram uma área construída de 82.705,41 m^2 , valor bastante superior às reportadas por Souza (2005) e Marques Neto e Schalch (2010), conforme Tabela 6.

4.2.1 Teste para validação da amostra

Para a validação dos dados, foi efetuada a análise de variância, como descrito na metodologia deste trabalho. Os grupos formados para validação da amostra foram

referentes à dados da taxa média das obras tidas como obras controle (Grupo 1: obras 16, 19, 21, 22, 24 e 35), com os dados da taxa média das demais obras finalizadas (Grupo 2: obras 1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 13, 14, 17, 20, 29, 34), que foram acompanhadas através da ficha de acompanhamento e coleta dos dados de descarte de RCC (Quadro 1) preenchida pelas construtoras. A Tabela 9 apresenta todos os dados referentes aos grupos citados para análise de validação.

A Tabela 10 mostra os resultados da análise de variância para os grupos 1 e 2. Utilizou-se as equações (3), (4), (5) e (6) para encontrar os resultados de F , S_w^2 , S_b^2 e \bar{X} , respectivamente.

Tabela 9 - Taxa de Geração de RCC em kg/m² dos grupos para análise e Análise de variância das obras controle e demais obras

OBRAS CONTROLE (Grupo 01)					
Obra	Usuário	Área Construída (m²)	Volume de RCC (m³)	Massa Descartada de RCC (kg)	Taxa de Geração de RCC (Kg/m²)
16	Público	2.299,02	203,10	208.177,50	90,55
19	Público	840,00	72,00	73.800,00	87,86
21	Público	232,45	36,00	36.900,00	158,74
22	Público	394,30	38,50	39.462,50	100,08
24	Público	754,93	76,50	78.412,50	103,87
35	Público	1.031,80	100,40	102.910,00	99,74
DEMAIS OBRAS (Grupo 02)					
Obra	Usuário	Área Construída (m²)	Volume de RCC (m³)	Massa Descartada de RCC (kg)	Taxa de Geração de RCC (Kg/m²)
1	Particular	985,50	97,0	99.425,00	100,89
3	Particular	43.858,80	3.854,5	3.950.862,50	90,08
4	Particular	16.976,51	1.515,5	1.553.387,50	91,50
5	Particular	1.250,00	120,0	123.000,00	98,40
6	Particular	950,00	100,0	102.500,00	107,89
7	Particular	1.780,00	140,0	143.500,00	80,62
8	Particular	1.949,00	180,0	184.500,00	94,66
9	Particular	1.194,50	144,0	147.600,00	123,57
10	Particular	998,00	105,0	107.625,00	107,84
12	Particular	70,00	10,0	10.250,00	146,43
13	Particular	95,00	10,5	10.762,50	113,29
14	Particular	150,00	11,0	11.275,00	75,17
17	Público	997,64	165,5	169.586,25	169,99
20	Público	445,56	48,5	49.712,50	111,57
29	Público	4.997,00	508,3	521.007,50	104,26
34	Público	455,40	39,5	40.487,50	88,91

Fonte: Elaborada pelo autor

Tabela 10 - Análise de variância das obras controle (grupo 1) e demais obras (grupo 2)

	n	Soma	\bar{X}	S	S^2
Grupo 1	6	640,84	106,81	26,17	684,83
Grupo 2	16	1705,07	106,57	24,07	579,33
k			2		
N_t			22		
\bar{X}			106,63		
S_w^2			605,70		
S_b^2			0,25		
F			0,00041		
v1			1		
v2			20		
F_c			4,35		

Fonte: Elaborada pelo autor

Após os cálculos, foi determinado o valor de F sendo igual a 0,0004142, conforme Tabela 9. O passo seguinte foi comparar a estatística F com o valor F_c crítico da distribuição F , que foi determinado a partir da relação do grau de liberdade da variável do numerador (v_1) e grau de liberdade da variável do denominador (v_2) observado na tabela de Fisher, para um nível de significância $\alpha = 5\%$. Sendo $v_1 = k - 1$ e $v_2 = n_t - k$, tem-se que $v_1=1$ e $v_2=20$ conforme mostra Tabela 9, e com isso fazendo a relação tem-se que $F_c = 4,35$.

Com isso chegou-se à conclusão de que a análise estatística do F , dos dados da taxa média das obras controle com os dados das taxas médias das demais obras analisadas, foi menor do que o F_c ($F < F_c$), podendo assim considerar que é razoável aceitar que a diferença entre os valores das médias das amostras seja devida somente à variabilidade amostral, considerando assim as demais amostras como confiáveis. A comparação entre o F e o F_c nos permite então saber que a hipótese H_0 deve ser aceita, ou seja, que não há diferença significativa na taxa de geração de RCC das obras controle e da taxa de geração de RCC das demais obras.

4.2.2 Teste entre as médias das obras de usuário particular e público

Das obras concluídas relacionadas, 12 obras são de fins particulares e 10 obras são de fins públicos. Foi feita uma análise dos resultados das taxas de RCC em separado, já que poderia haver uma diferença nos resultados das taxas. Para análise das médias das taxas das obras conforme o usuário (particular: grupo 3; público: grupo 4), foi montada a Tabela 11 com a formação dos grupos para o procedimento estatístico para teste de hipóteses na comparação das médias dos dois grupos amostrais. O resultado da análise de variância são mostrados na Tabela 12. Utilizou-se as equações (3), (4), (5) e (6) para encontrar os resultados de F , S_w^2 , S_b^2 e $\bar{\bar{X}}$, respectivamente.

Tabela 11 - Taxa de Geração de RCC em kg/m² dos grupos para análise e Análise de variância das obras particulares e públicas

RELAÇÃO DAS OBRAS PARTICULARES CONCLUÍDAS - ACOMPANHAMENTO DA GERAÇÃO DOS RCC (Grupo 3)					
Obra	Usuário	Área Construída (m²)	Volume de RCC (m³)	Massa Descartada de RCC (kg)	Taxa de Geração de RCC (kg/m²)
1	Particular	985,50	97,0	99.425,00	100,89
3	Particular	43.858,80	3.854,5	3.950.862,50	90,08
4	Particular	16.976,51	1.515,5	1.553.387,50	91,50
5	Particular	1.250,00	120,0	123.000,00	98,40
6	Particular	950,00	100,0	102.500,00	107,89
7	Particular	1.780,00	140,0	143.500,00	80,62
8	Particular	1.949,00	180,0	184.500,00	94,66
9	Particular	1.194,50	144,0	147.600,00	123,57
10	Particular	998,00	105,0	107.625,00	107,84
12	Particular	70,00	10,0	10.250,00	146,43
13	Particular	95,00	10,5	10.762,50	113,29
14	Particular	150,00	11,0	11.275,00	75,17

RELAÇÃO DAS OBRAS PÚBLICAS CONCLUÍDAS - ACOMPANHAMENTO DA GERAÇÃO DOS RCC (Grupo 4)					
Obra	Usuário	Área Construída (m²)	Volume de RCC (m³)	Massa Descartada de RCC (kg)	Taxa de Geração de RCC (kg/m²)
16	Público	2.299,02	203,1	208.177,50	90,55
17	Público	997,64	165,5	169.586,25	169,99
19	Público	840,00	72,0	73.800,00	87,86
20	Público	445,56	48,5	49.712,50	111,57
21	Público	232,45	36,0	36.900,00	158,74
22	Público	394,30	38,5	39.462,50	100,08
24	Público	754,93	76,5	78.412,50	103,87
29	Público	4.997,00	508,3	521.007,50	104,26
34	Público	455,40	39,5	40.487,50	88,91
35	Público	1.031,80	100,4	102.910,00	99,74

Fonte: Elaborada pelo autor

Nas obras particulares, observa-se que foi gerado, em relação à área total construída de 70.257,31 m², um volume de 6.287,50 m³ e massa descartada de 6.444.687,50 kg, chegando-se a uma média ponderada da taxa de RCC de 91,73 kg/m². Nas obras públicas observa-se que foi gerado, em relação à área total de 12.448,10 m², um volume de 1.288,25 m³ e massa descartada de 1.320.456,25 kg, chegando-se a uma média ponderada da taxa de RCC de 106,08 kg/m², um pouco superior à encontrada para as obras particulares.

Para verificação da validação dos dados, foi efetuada a análise de variância, do grupo 3 e grupo 4, constituídos de obras particulares e obras públicas, respectivamente.

Tabela 12 - Análise de variância das obras particulares (grupo 3) e obras públicas (grupo 4)

	n	Soma	\bar{X}	S	S^2
Grupo 3	12	1230,34	102,53	19,38	375,41
Grupo 4	10	1115,57	111,56	28,94	837,79
k			2		
N_t			22		
\bar{X}			106,63		
S_w^2			583,48		
S_b^2			444,64		
F			0,762		
v₁			1		
v₂			20		
F_c			4,35		

Fonte: Elaborada pelo autor

Após os cálculos, foi determinado o valor de F sendo igual a 0,762, conforme Tabela 11. O passo seguinte foi comparar à estatística F com o valor F_c crítico da distribuição F , que foi determinado a partir da relação do grau de liberdade da variável do numerador (v_1) e grau de liberdade da variável do denominador (v_2) observado na tabela de Fisher, para um nível de significância $\alpha = 5\%$. Sendo $v_1 = k - 1$ e $v_2 = n_T - k$, tem-se que $v_1 = 1$ e $v_2 = 20$, conforme mostra Tabela 11, e com isso fazendo a relação tem-se que $F_c = 4,35$.

A partir desse resultado, conclui-se que a análise estatística do F dos dados da taxa média das obras particulares com os dados das taxas médias das obras públicas,

foi menor do que o F_C ($F < F_C$), podendo assim considerar que é razoável aceitar que a diferença entre os valores das médias das amostras seja devida somente à variabilidade amostral, considerando assim as demais amostras como confiáveis. A comparação entre o F e o F_C nos permite, então, saber que a hipótese H_0 deve ser aceita, ou seja, que não há diferença significativa na taxa de geração de RCC das obras particulares e da taxa de geração de RCC das obras públicas.

4.2.3 Taxa de geração de RCC para a amostra final

Dessa forma, não havendo diferenças significativas nos resultados das taxas das obras particulares e das obras públicas, conforme o resultado observado na análise de variância entre o grupo 3 e o grupo 4, o presente trabalho considerou a taxa de geração de RCC de todas as obras concluídas sem distinção quanto ao seu tipo.

De posse de todos os dados de volume descartado de RCC (transformado para massa) e das áreas construídas correspondentes, determinou-se a taxa de geração de RCC a partir da razão entre a sua massa total descartada de RCC em kg e a área construída em m^2 de cada obra (Eq.1). Foi calculada a média ponderada das taxas, sendo a área construída o peso na ponderação.

A seguir, a Tabela 13 apresenta os resultados das obras finalizadas de volume gerado de RCC em m^3 , área construída, massa descartada calculada utilizando o valor da massa unitária de aproximadamente de 1.025 kg/ m^3 e a taxa de geração de RCC de cada obra calculado pela (Eq.1). É apresentada também a média ponderada da taxa de geração de RCC calculado pela (Eq. 2).

A taxa média de geração de RCC das obras concluídas foi de 106,63 kg/ m^2 . Caso seja considerada a média ponderada das taxas de geração, com a área construída de cada obra sendo o peso na ponderação, o valor médio passa a ser 93,89 kg/ m^2 . E ainda considerando resíduos classe A tem-se que a taxa média ponderada é de 86,27 kg/ m^2 , sendo que para o cálculo deste valor foi considerado que os RCC classe A representam 93% no computo geral do RCC, a média dos estudos apresentados na Tabela 1.

Tabela 13 - Relação das obras concluídas e taxa de geração de RCC

Obra	Usuário	Área Construída (m ²)	Volume de RCC (m ³)	Massa Descartada de RCC (kg)	Taxa de Geração de RCC (kg/m ²)	Taxa de Geração de RCC Classe A (kg/m ²)
1	Particular	985,50	97,0	99.425,00	100,89	93,83
3	Particular	43.858,80	3.854,5	3.950.862,50	90,08	83,78
4	Particular	16.976,51	1.515,5	1.553.387,50	91,50	85,10
5	Particular	1.250,00	120,0	123.000,00	98,40	91,51
6	Particular	950,00	100,0	102.500,00	107,89	100,34
7	Particular	1.780,00	140,0	143.500,00	80,62	74,98
8	Particular	1.949,00	180,0	184.500,00	94,66	88,03
9	Particular	1.194,50	144,0	147.600,00	123,57	114,92
10	Particular	998,00	105,0	107.625,00	107,84	100,29
12	Particular	70,00	10,0	10.250,00	146,43	136,18
13	Particular	95,00	10,5	10.762,50	113,29	105,36
14	Particular	150,00	11,0	11.275,00	75,17	69,91
16	Público	2.299,02	203,1	208.177,50	90,55	84,21
17	Público	997,64	165,5	169.586,25	169,99	158,09
19	Público	840,00	72,0	73.800,00	87,86	81,71
20	Público	445,56	48,5	49.712,50	111,57	103,76
21	Público	232,45	36,0	36.900,00	158,74	147,63
22	Público	394,30	38,5	39.462,50	100,08	93,08
24	Público	754,93	76,5	78.412,50	103,87	96,60
29	Público	4.997,00	508,3	521.007,50	104,26	96,96
34	Público	455,40	39,5	40.487,50	88,91	82,69
35	Público	1.031,80	100,4	102.910,00	99,74	92,76
<hr/>						
TOTAL		82.705,41	7.575,75	7.765.143,75	-	-
MÉDIA PONDERADA					93,89	86,27

Fonte: Elaborada pelo autor

Comparando este valor com os reportados por Souza (2005) e Marques Neto e Schalch (2010), de 89,68 e 137,02 kg/m², respectivamente, observa-se a proximidade entre os mesmos. Salienta-se algumas particularidades dos referidos estudos, pois as áreas da amostra são inferiores a da presente pesquisa e além disso Marques Neto e Schalch (2010) utilizou uma massa unitária de RCC bastante inferior ao encontrado na literatura após revisão bibliográfica, podendo influenciar no valor final da taxa, além do

mesmo incluir em sua amostra uma reforma que entra no somatório das áreas da amostra.

Considerando resíduos apenas de classe A tem-se que a taxa média aritmética foi de 99,17 kg/m² e a ponderada de 86,27 kg/m². A partir da taxa de RCC classe A encontrada (média aritmética), foram calculados limites superior e inferior 90% de confiança, mostrados na Tabela 14.

Tabela 14 - Limites de aceitação da taxa de geração de RCC classe A

Limites de Aceitação	
Taxa média dos RCC Classe A (kg/m ²)	99,17
Desvio Padrão	22,34
Limite Superior 90% (kg/m ²)	136,02
Limite Inferior 90% (kg/m ²)	62,31

Fonte: Elaborada pelo autor

Como sugestão, os limites superior e inferior citados na Tabela 14 (LI = 62,31 kg/m²; LS 136,02 kg/m²) podem ser utilizados para fins de fiscalização junto a uma dada obra. Caso uma obra apresente uma taxa abaixo do limite inferior de aceitação, a mesma poderia ser questionada quanto ao descarte, tendo que se justificar junto ao órgão fiscalizador, pois é possível que fração desses resíduos tenham sido descartados de forma irregular ou remanejados para outros fins. No caso das obras que apresentarem taxas de geração dos RCC acima do limite superior de aceitação, necessariamente, seriam questionadas quanto à elevada geração dos RCC.

O resultado é importante também para controle e/ou gerenciamento por parte do construtor, o qual poderá analisar o nível de perdas em seu empreendimento.

CAPÍTULO 5- CONCLUSÕES

A metodologia seguida para a coleta dos dados desta pesquisa é confiável, conforme verificado através da análise de variância entre as obras controle e as demais obras, não havendo diferenças significativas nos resultados das taxas das mesmas.

Outro fator fundamental para a fiabilidade dos resultados estabelecidos é o tamanho da amostra. A pesquisa realizou o acompanhamento de geração dos RCC de 35 obras, e utilizou, para fins do estudo, os dados de 22 obras, (62,86% do total), que foram concluídas dentro do prazo da pesquisa. Essas 22 obras somam um total de 82.705,41 m² de área construída, valor bastante superior para obtenção da taxa se comparado a outras pesquisas similares na literatura.

Portanto, a média ponderada da taxa de RCC bruto na cidade de João Pessoa encontrada é de 93,89 kg/m² de área construída considerando o total dos RCC, e de 86,27 kg/m² para os RCC classe A, no período de 2010 a 2012.

A taxa média de geração de RCC classe A e seus limites de confiança, em João Pessoa, estabelecem um parâmetro para que os órgãos fiscalizadores atuem de forma eficaz no combate ao descarte irregular dos RCC. Dessa forma, o valor de 62,31 kg/m² (Limite inferior 90% de confiança) é aqui sugerido como valor de referência para efeito de fiscalização. É a partir desse parâmetro que o controle poderá ser realizado, dando o indicativo de quais obras podem estar infringindo a Lei Municipal 11.376, bem como a resolução CONAMA 307.

Não houve diferenças significativas nos resultados das taxas de geração das obras particulares (residenciais) e das obras públicas, podendo assim serem consideradas como geradoras de taxas similares de RCC.

CAPÍTULO 6- REFERÊNCIAS

ANDRADE, A.C.; SOUZA, U.E.L.; PALIARI, J.C.; AGOPYAN, V. **Estimativa da quantidade de entulho produzido em obras de construção de edifícios.** In: SEMINÁRIO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL, 4, 2001, São Paulo. Anais, São Paulo: Comitê Técnico CT 206, 2001.

ÂNGULO S.C. ; **Caracterização de agregados de resíduos de construção e demolição reciclados e a influência de suas características no comportamento de concretos.** 2005. 167 f. Tese (Doutorado em Engenharia) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

ÂNGULO S.C. ; JOHN V.M. Requisitos para execução de aterros de resíduos de construção e demolição. **Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP**, BT/PCC/436. São Paulo, 2006. ISSN 0103-9830

ÂNGULO, S.C.; TEIXEIRA, C.E.; CASTRO, A.L.; NOGUEIRA, T.P. Resíduos de construção e demolição: avaliação de métodos de quantificação. **Eng. Sanit. Ambient. [online]**. v.16, n.3, p. 299-306, 2011. ISSN 1413-4152.

ÂNGULO. S.C. **Variabilidade de agregados graúdos de resíduos da construção e Demolição reciclados.** 2000. 155 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT - . **NBR 10004:2004** classificação de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.

ATHAYDE JÚNIOR, G.B; FERRARI JÚNIOR, M.J.; ; DINIZ, M.D; BORLINI, F.R; PAULA, E.A.; COSTA, A.S.V.; SONCIM, S.P.; ALMEIDA, M.O. **Reciclagem de entulhos em Governador Valadares: uma alternativa viável.** In: Congresso

Brasileiro de Ciência e Tecnologia em Resíduos e Desenvolvimento Sustentável. 2004, Florianópolis. Anais, Florianópolis, 2004.

BERNARDES, A. **Quantificação e classificação dos resíduos da construção e demolição no município de Passo Fundo- RS.** 2006. 93 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Faculdade de Engenharia e Arquitetura da Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo-RS, 2006.

BIDONE, F. R. A. (Coord.). **Resíduos Sólidos Provenientes de Coletas Especiais: reciclagem e disposição final.** Rio de Janeiro: RIMA-ABES, 2001. p. 13-14 e 32-38.

BRASIL. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. **Resolução 307 de 05/julho/2002.** Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Publicada no DOU nº136, de 17 de julho de 2002, Seção 1, pgs 95-96. Brasília, 2002.

BRASIL. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. **Resolução 348 de 16/agosto/2004.** Altera a Resolução CONAMA nº 307, de 5 de julho de 2002, incluindo o amianto na classe de resíduos perigosos. Publicada no DOU nº158, de 17 de agosto de 2004, Seção 1, pg 70. Brasília, 2004.

BRASIL. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. **Resolução 431 de 24/maio/2011.** Altera o art. 3º da Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA, estabelecendo nova classificação para o gesso. Publicada no DOU nº 99, de 25/05/2011, pág. 123. Brasília, 2011.

CARELI, E. D. **A Resolução CONAMA nº 307/2002 e as Novas Condições para Gestão dos Resíduos de Construção e Demolição.** 2008. 154 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, São Paulo, 2008.

CARNEIRO, A. P.; BRUM, I. A. S.; COSTA, D. B.; ALBERTE, E. P. V.; SAMPAIO, T. S. **Reciclagem de entulho da região metropolitana de Salvador para a produção de materiais de construção de baixo custo.** In: Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 9, 2000, Porto Seguro. Anais, Porto Seguro, 2000.

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

COLOMBO, C. R.; BAZZO, W. A. Desperdício na construção civil e a questão habitacional: um enfoque CTS. **Revista Roteiro**, Laçaba, v. XXVI, n.46, p. 135-154, 2001.

COSTA, L.S.N; De ALMEIDA, S.L.M. **Caracterização tecnológica dos resíduos de construção e demolição (RCD) da cidade de Macaé – RJ.** I Jornada do Programa de Capacitação Interna –CETEM, 1999.

DEGANI, C. M. **Sistemas de Gestão Ambiental em Empresas Construtoras de Edifícios São Paulo.** 2003. 223 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - EPA. **Characterization of building-related construction and demolition debris in the United States.** U.S. Environmental Protection Agency, Solid Waste and Emergency Response, 1998.

EVANGELISTA, P.P.A; COSTA, D.B.; ZANTA, V. M. **Alternativa sustentável para destinação de resíduos de construção classe A: sistemática para reciclagem em canteiros de obras.** Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 10, n. 3, p. 23-40, jul./set. 2010. ISSN 1678-8621.

FONSECA, E. ; LIRA, C.S.; MENEZES, G.M.; MONTE, L.D.B.; LIMA, R.J.D. **Plano Integrado de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil e Demolição do Município de João Pessoa-PB.** Prefeitura Municipal de João Pessoa. 2007.

FORMOSO, C.T.; JOBIM, M.S.S.; COSTA, A.L.; ROSA, F.P. **Perdas de materiais na construção civil: um estudo em canteiros de obras no Estado do Rio Grande do Sul.** In: Congresso Latino Americano de Tecnologia e Gestão na Produção de Edifícios. Soluções para o terceiro milênio, v.1, p. 299-307. São Paulo: 1998.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Censo demográfico 2010.** Disponível em:

<<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/default.shtm>>. Acesso em 19 de dezembro de 2010.

JOÃO PESSOA. PREFEITURA MUNICIPAL DE JOÃO PESSOA. **Lei Municipal 11.176 de 10 de Outubro de 2007.** Institui o sistema de gestão sustentável de resíduos da construção civil e demolição e o plano integrado de gerenciamento de resíduos da construção civil e demolição de acordo com o previsto na resolução CONAMA nº307, e dá outras providências. João Pessoa, 2007

JOHN, V.M. **Aproveitamento de resíduos sólidos como materiais de construção.** In: CASSA, J.C.S; CARNEIRO, A.P.; BRUM, I.A.S (Org.). Reciclagem de entulho para produção de materiais de construção – Projeto Entulho Bom. Salvador: EDUFBA; Caixa Econômica Federal, 2001.

JOHN, V.M. **Reciclagem de resíduos na construção civil:** contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento. 2000, 102 f. Tese (livre docência). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

LLATAS, C.A. A model for quantifying construction waste in projects according to the European waste list. **Waste Management**, v.31, n.6, p. 1261-1276, 2011.

MANFRINATO, J.W. de S; ESGUÍCERO, F.J; MARTIS, B.L. **Implementação de usina para reciclagem de resíduos da construção civil (RCC) como ação para o desenvolvimento sustentável:** estudo de caso. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 28, 2008. Rio de Janeiro, 2008.

MARQUES NETO, J. C.; SCHALCH,V. **Gestão dos Resíduos de Construção e Demolição: Estudo da Situação no Município de São Carlos-SP**, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos – SP, 2010.

MARQUES NETO, J. da C.; SCHALCH, V. **Diagnóstico ambiental para gestão sustentável dos resíduos de construção e demolição**. In: XII Simpósio Luso Brasileiro de Engenharia Sanitária. Março 13 – 17, Figueira da Foz – Portugal.

MONTEIRO, J. H. P.; FIGUEIREDO, C.E.M.; MAGALHÃES, A.F.; MELO,M.A.F.; BRITO, J.C.X.; ALMEIDA, T.P.F.; MANSUR, G.L. **Manual de gerenciamento integrado de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro: IBAM, 2001.

MORAIS, G. M. D. **Diagnóstico da deposição clandestina de Resíduos de Construção e Demolição em bairros periféricos de Uberlândia: subsídios para uma gestão sustentável**. 2006. 201 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2006.

OLIVEIRA, M.M.; PIMENTEL, U.H.O.; ZANTA, V.M.; ATHAYDE JÚNIOR, G.B. **Determinação da Taxa de Geração de RCC: Estudo de caso das obras do campus I da UFPB**. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. 26, 2011. Porto Alegre-RS, 2011.

PINTO, T. P. **Entulho de construção: problema urbano que pode gerar soluções**. Construção, São Paulo, nº 2325, 31 ago. 1992.

PINTO, T. P. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana**. 1999. 189 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

PMJP - Prefeitura Municipal de João Pessoa. Disponível em:
<http://www.joaopessoa.pb.gov.br/licitacoes/desenvsustentavel/2007/edital_empreender_2007.pdf>. Acesso em 12 Jan. de 2010.

POLILLO, A. **Dimensionamento de concreto armado**. 4.ed, v.1. São Paulo: Editora Nobel S/A, 1987.

SINDUSCON-JP. **Boom Imobiliário**. Disponível em <<http://www.sindusconjp.com.br/informativo/noticia.jsp?idNoticia=760>>. Acesso em 12 Abr. de 2012.

SOLÍS-GUZMAN, J., MARRERO, M., MONTES, M.V., RAMÍREZ-DE-ARELLANO, A.. A Spanish model for quantification and management of construction waste. **Waste Management**. v. 29, p. 2542–2548, 2009

SOUZA, U. E. L.; AGOPYAN, V. Os números que faltavam. **Revista Qualidade na Construção**, p. 14-20. São Paulo, 1999.

SOUZA, V. B. **Avaliação da Geração de Entulho em Conjunto Habitacional Popular** – estudo de caso. 2005. 251 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2005.

ULSEN, C. **Caracterização tecnológica de resíduos de construção e demolição**. 2006. 200 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

VIANA, K.S.C.L. **Metodologia simplificada de gerenciamento de resíduos sólidos em canteiros de obras**. 2009. 178 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana e Ambiental). Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2009.

VIOLIN, R.Y.T. **Diagnóstico da geração de resíduos de construção e demolição em etapas construtivas no município de Maringá/PR**. 2009. 116 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) Universidade Estadual de Maringá, Maringá-PR, 2009.

ZORDAN, S. E. **A Utilização do Entulho como Agregado na Confecção do Concreto**. 1997. 140 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Estadual de Campinas, Campinas-SP, 1997.

ANEXOS

ANEXO A – CONTROLE DE TRANSPORTE DE RESÍDUO (CTR) DA OBRA CONTROLE N°



Nº 3671

Telefone: (83) 2106-3626

1 - IDENTIFICAÇÃO DO TRANSPORTADOR

NOME OU RAZÃO SOCIAL	Projecta Material de Construção Ltda		
ENDEREÇO	BR 230 K 12, S/N - Estrada de Cabedelo		
NOME DO CONDUTOR	Jean Carlos S.		
TELEFONE	2106-3626	HORA DA ENTRADA	
OS / CTR	26266	PLACA DO VEÍCULO	NQA 0593

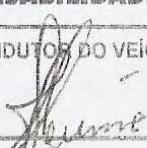
2 - IDENTIFICAÇÃO DO GERADOR

NOME OU RAZÃO SOCIAL	Paralelo Const
TELEFONE	
CPF OU CNPJ	
Nº DO ALVARÁ	
END:	UFPB Campus I

3 - CARACTERIZAÇÃO DO RESÍDUO

VOLUME TRANSPORTADO:	4 (m ³)	VISTO E CARIMBO
1 - CONCRETO	+	 Edmilson Diretor de Tratamento e Disposição Final EMLUR
2 - CERÂMICA		
3 - MADEIRA		
OUTROS (ESPECIFICAR)		

4 - RESPONSABILIDADE

VISTO DO CONDUTOR DO VEÍCULO	DATA
	14.07.11