

UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SUSTENTABILIDADE DE
ECOSISTEMAS COSTEIROS E MARINHOS
MESTRADO EM ECOLOGIA

JOSÉ DOS RAMOS DE ALMEIDA BATISTA

UTILIZAÇÃO DE RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO CIVIL E DE DEMOLIÇÃO
PARA CONFEÇÃO DE PISOS DE CONCRETO

SANTOS/SP
2013

JOSÉ DOS RAMOS DE ALMEIDA BATISTA

**UTILIZAÇÃO DE RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO CIVIL E DE DEMOLIÇÃO
PARA CONFEÇÃO DE PISOS DE CONCRETO**

Dissertação apresentada à Universidade Santa Cecília, como parte dos requisitos para obtenção do título de mestre no Programa de Pós- Graduação em Ecologia, com orientação do Profº Dr. Aldo Ramos Santos e coorientação do Profº Dr. Deovaldo de Moraes Júnior.

**SANTOS/SP
2013**

UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA

**UTILIZAÇÃO DE RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO CIVIL E DE DEMOLIÇÃO
PARA CONFEÇÃO DE PISOS DE CONCRETO.**

JOSÉ DOS RAMOS DE ALMEIDA BATISTA

Dissertação julgada adequada para obtenção do título de mestre em ecologia, qualificada e aprovada em ____/____/ 2013 pela Banca examinadora.

Banca Examinadora

Profº Dr. Aldo Ramos Santos.....

Profº. Dr. . Deovaldo de Moraes Júnior.....

Profª Drª. Liliane Lopes Costa Alves Pinto.....

(.....) O orientador declara que a Dissertação tem a aprovação para digitalização (02 cópias em CD), a fim de serem entregues na Secretaria para o início do processo de pedido de diploma, com o prazo máximo de 30 dias a contar da defesa.

() O orientador declara que a Dissertação tem a aprovação condicionada às reformulações solicitadas pela Banca Examinadora no prazo de 90 dias a contar da defesa, tendo o aluno, obrigatoriamente, que apresentar a Dissertação com as reformulações até ____/____/_____. O aluno tem a partir desta data limite, o prazo máximo de 30 dias para entrega de 02 cópias em CD da Dissertação, a serem entregues na Secretaria para início do processo de pedido de diploma.

Data ____/____/____

Orientador Profº Dr. Aldo Ramos Santos

Autorizo a reprodução parcial ou total deste trabalho, por qualquer que seja o processo, exclusivamente para fins acadêmicos e científicos.

BATISTA, José dos Ramos de Almeida

Utilização de resíduo de construção civil e de
demolição para confecção de pisos de concreto./

José dos Ramos de Almeida Batista. Santos/SP.

2013

55 p.il.

Orientador: Professor Dr. Aldo Ramos Santos

À minha mãe, Maria “in memoriam”,
e ao meu pai, Albertino “in memoriam”.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a ELE, Ser Supremo, por permitir que eu continue a viver.

Ao Professor Dr. Aldo Ramos Santos (orientador) e Professor Dr. Deovaldo de Moraes Júnior, (coorientador), por terem demonstrado o seu apoio e paciência e incentivo durante a elaboração deste trabalho.

À Universidade Santa Cecília, Faculdade de Engenharia, Curso de Engenharia Civil, por permitir o uso do seu Laboratório de Materiais de Construção Civil e Laboratório de Solo, sem o que não seria possível a execução dos ensaios.

Aos colegas da Universidade Santa Cecília pelo incentivo e apoio.

Aos professores e colegas do Curso de Pós Graduação da Universidade Santa Cecília.

Ao laboratorista, Paulo Andrade, pela sua ajuda e contribuição.

Aos amigos Silmara de Carvalho Castanheira, Antonio Iris Mazza e Hélio F. Hallite R. S. pelo companheirismo e incentivo.

Aos meus pais, Sr. Albertino “in memoriam”, e D^a Maria “in memoriam”, e aos meus irmãos, Luiz “in memoriam”, Joaquim, Maria Alice, Maria de Lourdes, João “in memoriam”, Albertino e Fausto, pela educação e carinho que me deram e por possibilitarem a minha formação como Engenheiro Civil.

Aos meus Mestres da EETM. – Escola de Engenharia do Triângulo Mineiro, Uberaba, Minas Gerais, que forneceram as diretrizes para me tornar o que eu sou.

À minha esposa, Zuleica Maria, e meus filhos, Marcus Vinicius e Catarina, por compreenderem a necessidade deste título.

RESUMO

Usualmente a expressão entulho de construção civil refere-se aos resíduos provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, bem como os resultados da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, produtos e mantas impermeabilizantes derivadas de petróleo, concreto em geral, solos, pavimento asfáltico (concreto asfáltico), tubulações, restos de madeira, de ferragens, entre outros. Sabe-se que esses resíduos provocam problemas ambientais, no que se refere aos aspectos de saúde, meio ambiente e sociais, acarretando doenças, poluindo o ar com partículas finas, assim como as águas superficiais, e subterrâneas, etc.. A sua destinação usualmente sem qualquer tratamento são os lixões e aterros. Quando tratados, são as usinas de reciclagem, aterros controlados que recebem tal matéria. A reciclagem de resíduos da construção civil (RRCC) é usualmente feita por entidades públicas, como, as Prefeituras dos municípios de Belo Horizonte (Minas Gerais), Campinas (São Paulo), e São Paulo (São Paulo). As entidades privadas somente agora é que tem se dedicado ao reaproveitamento dos resíduos. O objetivo deste trabalho é utilizar resíduos de construção e demolição (RCD) para a confecção de argamassas e concretos visando a aplicação na indústria da construção civil na confecção de pisos e lajotas. Além do seu aproveitamento que economicamente, provoca uma queda dos custos de materiais da construção civil, o RCD ocasiona a diminuição da deterioração de leitos de rios e lagoas, responsável pelo assoreamento dos mesmos, provocados pelas dragas para a retirada de areia, bem como as explorações de pedreiras responsáveis pelas derrubadas das matas e destruições de encostas de morros e serras.

Palavras-Chave: Resíduo de Construção Civil. Reciclagem de resíduo de construção civil. Entulho de Construção Civil, Agregados artificiais.

ABSTRACT

The expression civil construction debris usually refers to the waste material from buildings, reforms, restorations or repairs and the demolition of civil construction, as well as the results of the preparation and excavation of tracts of land. These are bricks, ceramic blocks, products and waterproofing wrap material derived from petrol, concrete in general, soil, pavement (concrete pavement), piping, wood and iron-dusts, among others. It is known that all this waste causes problems regarding health, environmental and social aspects, thus causing diseases, polluting the air with tiny particles as well as the superficial and underground waters, etc. Its final destination, usually without any sort of previous treatment, are the refuse dumps and dirt-fills. When they are treated, the recycling factories and supervised dirt-fills receive this content. The recycling of waste material from civil construction (RRCC in Portuguese, RWCC in English) is usually carried out by public entities such as the City Halls of the districts of Belo Horizonte (state of Minas Gerais), Campinas (state of São Paulo) and the city of São Paulo (state of São Paulo). Only now private entities have devoted to recycling these products. This paper aims at showing that it is possible to use both construction and demolition waste (RCD in Portuguese, CDW in English) in the manufacturing of mortar and concrete so as to utilize them in the civil construction industry, in the making of floors and paving blocks or tiles. Because of the fact that RCD is cheap, it helps reduce the budgets of civil construction material. Moreover, the RCD or CDW helps reduce the damages caused to rivers and lagoons, such as their silting up, which is usually provoked by the dredging operations for the withdrawing of sand. It would also reduce the exploitation of stone quarries, which in turn is responsible for the destruction of forests and the slopes of mountains and hills.

Keywords: Civil Construction Waste. Recycling of Civil Construction Waste. Civil Construction Debris. Artificial Aggregate.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Dioxinas e furanos: Origem e Riscos	
- Revista de Saúde Pública-1999.....	22
Figura 2 - Entulho de obra nova.....	23
Figura 3 - Entulho de obra em demolição.....	24
Figura 4 - Demolição de obra residencial no estado inicial.....	24
Figura 5 - Aparelho Los Angeles, moinho de bolas, que foi utilizado como . triturador.....	25
Figura 6 - Resíduo de construção após a trituração.....	25
Figura 7 - Material separado após trituração.....	26
Figura 8 - Material após a trituração.....	26
Figura 9 - Aparelho de quarteamento (quarteador).....	27
Figura 10 - Agregado graúdo.....	27
Figura 11 - Agregado miúdo.....	28
Figura 12 - Mistura do agregado miúdo com cimento e água (argamassa).....	28
Figura 13 - Agregado miúdo de resíduo obtido em usina de processamento.....	29
Figura 14 - Agregado graúdo de resíduo obtido em usina de processamento.....	29
Figura 15 - Representação das zonas utilizável e ótima e o comportamento da areia de resíduo industrializada (azul).....	33
Figura 16 - Forma plástica de lajota sextavada.....	35
Figura 17 - Mesa de determinação da consistência “flow table”.....	36
Figura 18 - Moldagem da lajota utilizando como mesa vibratória a “flow table”.....	36
Figura 19 - Lajota confeccionada com resíduo de demolição.....	37
Figura 20 - Lajota confeccionada com resíduo de demolição após ensaio de ruptura a compressão.....	38
Figura 21 – Lajota de resíduo de demolição, após ensaio de ruptura.....	40
Figura 22 – Lajota de resíduo de demolição, após o ensaio de ruptura.....	41
Figura 23 – Lajota de resíduo usinado, após o ensaio de ruptura.....	42
Figura 24 - Lajota após a ruptura com a formação de cone de ruptura.....	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Estimativa de geração de resíduos de construção civil (JOHN,1996).....	14
Tabela 2- Classificação dos municípios brasileiros de acordo com a geração de RCD pela população urbana (IBGE, 1996 e PINTO, 2000).....	14
Tabela 3- Valores de 2002 a 2012 (até julho) de licenças de demolição e novos projetos aprovado em Santos, São Paulo.....	15
Tabela 4- Geração de resíduo em função da cidade.....	15
Tabela 5- A falta de qualidade em relação ao custo total.....	16
Tabela 6- Ocorrência de desperdícios de materiais na construção convencional comparativo com alguns países (% em massa).....	16
Tabela 7- Estimativa das quantidades que serão coletados dos RSIE (RCD), em função do crescimento do PIB para os municípios da RMBS (Região Metropolitana da Baixada Santista).....	18
Tabela 8- Composição química do clínquer.....	21
Tabela 9- Produção de CO ₂	22
Tabela 10- Resíduo de demolição de residência.....	30
Tabela 11- Resíduo retirado da usina de beneficiamento.....	31
Tabela 12- Resíduo retirado de usina de beneficiamento.....	32
Tabela 13- Dados comparativos em relação a NBR 7211.....	33
Tabela 14- Dosagens de concreto utilizados pelos fabricantes de lajotas sextavadas (kg).....	34
Tabela 15- Dosagem em função da correção de umidade (água).....	34
Tabela 16- Fator multiplicativo “p”.....	39
Tabela 17- Fator de correção “fc”.....	40
Tabela 18- Cálculo da resistência e do desvio padrão do RCD.....	41
Tabela 19- Cálculo da resistência e do desvio padrão industrial.....	43
Tabela 20- Cálculo da resistência e do desvio padrão do RCD usinado.....	43
Tabela 21- Controle de qualidade ACI-214.....	43

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
1.1	GENERALIDADES.....	13
1.2	OBJETIVO.....	13
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	
2.1	QUANTIDADE DE RESÍDUOS E CUSTOS.....	13
2.2	PROBLEMÁTICA.....	17
2.3	ESTIMATIVA.....	19
2.4	FONTES DE GERAÇÃO DE RESÍDUOS.....	19
2.4.1.	Fase de Construção (canteiro).....	19
2.4.2.	Fase de Manutenção.....	19
2.4.3.	Demolição de Edifícios.....	20
2.5.	ORIGEM DOS MATERIAIS QUE COMPÕEM AS ARGAMASSAS E CONCRETOS.....	20
3	MATERIAL E MÉTODO	23
3.1-	MATERIAL	23
3.2-	MÉTODO	34
3.2.1-	Lajotas de Concreto para Pavimentação.....	34
3.2.2-	Confecção dos Corpos de Prova para Teste de Resistência á Compressão.....	37
4	RESULTADOS E DISCUSÃO.....	39
5	CONCLUSÃO E SUGESTÃO.....	44
5.1.-	AMOSTRAGEM.....	44
5.2.-	NOMENCLATURA DO MATERIAL RECICLADO.....	44
5.3.-	GRANULOMETRIA.....	44
5.4.-	MOLDAGEM DAS PEÇAS DE CONCRETO.....	45
5.5.-	DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA DAS PEÇAS DE CONCRETO....	45
5.6.-	DETERMINAÇÃO AS ESPESSURA DAS PEÇAS DE CONCRETO.....	45
5.7.-	ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	47

5.8.-COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS EM RELAÇÃO A	
ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA.....	50
5.9.-CONCLUSÃO	50
6. SUGESTÃO PARA FUTURAS PESQUISAS.....	51
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	52
8. GLOSSÁRIO.....	54

1 INTRODUÇÃO:

1.1 GENERALIDADES

Os resíduos oriundos do preparo de terrenos para a construção civil, os entulhos das reformas de residências e das demolições geram a poluição do ar por particulados, e a poluição de águas e solos por materiais de diferentes graus de decomposição. Os principais resíduos de construção e demolição (RCD) são: solo, concreto asfáltico, mantas impermeabilizantes, tubulações, madeira, blocos cerâmicos, tijolos e ferragens.

O destino dos entulhos, além dos lixões e aterros pode ser a reciclagem, sendo empregados na fabricação de tubos para drenagem, blocos, revestimentos e lajotas para pavimentação.

1.2 OBJETIVOS

O trabalho teve por objetivo principal estudar a viabilidade do emprego de resíduos de construção e demolição (RCD) na formulação de argamassa e concretos para aplicações na indústria de construção civil. O objetivo secundário do presente estudo foi verificar com ensaios de resistência a compressão o emprego dos (RCD) na confecção de lajotas de concreto para pavimentação.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 QUANTIDADES DE RESÍDUOS E CUSTOS

O conjunto de fragmentos ou restos de tijolos, concreto, argamassa, aço, madeira etc., provenientes de construções, reformas e demolições, é denominado RCD (resíduo de construção e demolição).

Sendo a construção civil a indústria que mais emprega mão de obra (não especializada), é, também, a que mais produz resíduos na sua execução.

Na Tabela 1 pode-se verificar tal afirmação:

Tabela 1 – Estimativa de geração de resíduos de construção civil

País	Quantidade anual	
	Mton/ano	kg/hab
Suécia	1,2 - 6	136 - 680
Holanda	12,8 - 20,3	820 - 1300
EUA	136 - 171	463 - 584
UK	50 - 70	880 - 1120
Bélgica	7,5 - 34,7	735 - 3359
Dinamarca	2,3 - 10,7	440 - 2010
Itália	35 - 40	600 - 690
Alemanha	79 - 300	963 - 3658
Japão	99	785
Portugal	3,2	325
Brasil	Não disponível	230 - 660

Fonte: JOHN (1996).

No caso do BRASIL, os valores conhecidos são em locais bem definidos, tais como nas capitais dos estados e do Distrito Federal. Os valores estão apresentados nas Tabelas 2, 3 e 4.

Tabela 2 – Classificação dos municípios brasileiros de acordo com a geração de RCD pela população urbana.

População (mil)	RCD (ton/dia)	Nº mun.	População		RCD médio (ton/dia)
			%	Média	
<120	<200	4.822	44,2	11.281	18
120 a 300	200 a 500	103	16,0	190.873	318
300 a 600	500 a 1000	25	8,3	410.865	684
600 a 3000	1000 a 5000	22	19,3	1.082.086	1803
>3000	>5000	2	12,1	7.471.325	12452

Fonte: PINTO (1999) apud CASTRO (2003)

Tabela 3 – Valores de 2002 a 2012 (até julho) de licenças de demolição e novos projetos aprovados em Santos, São Paulo

Prefeitura Municipal de Santos		
Ano	Licenças demolição	Aprovação projetos
2002	42	43
2003	39	60
2004	8	33
2005	93	78
2006	73	73
2007	137	67
2008	101	84
2009	101	262
2010	94	221
2011	105	235
2012	33	121 até Julho
TOTAL	826	1277

Fonte: Prefeitura Municipal de Santos (2012)

Tabela 4 – Geração de resíduo de algumas cidades do estado de São Paulo/ Brasil.

Município SP	Fonte	Produção diária (t/dia)	% em massa de resíduos de construção por resíduo sólido urbano
Capital São Paulo	I&T 2003	17.240	55
Guarulhos	I&T 2001	1.308	50
Diadema	I&T 2001	458	57
Campinas	PMC 1996	1.800	64
Piracicaba	I&T 2001	620	67
São José dos Campos	I&T 1995	733	67
Ribeirão Preto	I&T 1995	1.043	70
Jundiaí	I&T 1997	712	62
São José do Rio Preto	I&T 1997	687	58
Santo André	I&T 1997	1013	54

Fonte: PINTO (2005)

As cidades de Londres, Berlin e Varsóvia, após o término da segunda guerra mundial, foram reconstruídas utilizando-se dos resíduos dos seus próprios escombros. (BARROS-2004)

No Brasil é estimado (PINTO-2005) que o resíduo pode chegar a 20% em massa por resíduo sólido urbano, sendo que 30% referem-se a elementos de alvenaria e argamassas e 60% de seus derivados.

De acordo com Günther (2000), a participação da sociedade em busca de soluções sustentáveis, resultará na redução dos riscos sanitários e ambientais.

Na fase de planejamento, as perdas dos materiais são consideradas de 10 a 20% , podendo aumentar na sua fase de execução, devido ao sistema construtivo. Esses resíduos ao serem descartados acabam em terrenos baldios, rios, córregos, canais, ocasionando a obstrução destes últimos.(PORTO E VASCONCELOS (2010)).

Desses valores, as perdas, em relação ao custo da construção civil, Pinto (1995), relacionou o impacto que o desperdício e a falta de qualidade podem ocasionar, comparando com outros países, conforme Tabelas 5 e 6.

Tabela 5 – Falta de qualidade em relação ao custo total.

Países	Pesquisadores	% do custo total
Bélgica	Cnudde/CSTC (1988)	17
França	Matteu e Cnudde/CSTC (1878)	12
Brasil	Picchi/ USP (1993)	30

Fonte: PINTO (1989)

Tabela 6 – Ocorrência de desperdícios de materiais na construção convencional comparativo com alguns países (% em massa)

Materiais	Brasil Pinto UFSCar (SP)	Brasil Norie UFRGS	Skoyles Reino Unido	Hong Kong	Usual em orçamentos
Aço	26,19	19,07	3,60	-	20
Cimento	33,11	84,13	12,00	-	15
Concreto	1,34	13,18	6,00	11,00	5
Areia	39,02	45,76	12,00	-	15
Argamassa	91,25	86,68	12,00	15,00	15
Tijolos e blocos	26,94	12,73	13,00	11,00	10

Fonte: PINTO (1989)

Comparando as Tabelas 5 e 6, pode-se concluir que o desperdício é geral no mundo todo, e essa ocorrência é provocada por várias causas, como a falta de:

- a) Planejamento adequado, em todos os níveis, antes do início da obra;
- b) Projetos detalhados e estudados antes do seu início;
- c) Mão de obra especializada;
- d) Métodos construtivos atualizados e comprovadamente eficazes;
- e) Qualidade dos materiais a serem utilizados.

2.2 PROBLEMÁTICA

O desperdício existente na construção civil ocasionado por alguns dos fatores supracitados e principalmente pela falta de informações fora do meio acadêmico, pois os trabalhos sobre o assunto se restringem quase que exclusivamente a publicações acadêmicas, não existindo literatura específica alertando sobre os problemas ambientais e como proceder quanto ao seu aproveitamento.

As normas vigentes definem RCD como sendo:

ABNT-“NBR 10004/2004

– 3.1 resíduos sólidos: Resíduos nos estados sólidos ou semissólidos, que resultam de atividade de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição”. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível.

3.2 periculosidade de um resíduo: Característica apresentada por um resíduo que, em função de suas propriedades físicas, químicas ou infectocontagiosas, pode apresentar:

- a) Risco à saúde pública, provocando mortalidade, incidência de doenças ou acentuando seus índices;”
- b) Risco ao meio ambiente, quando o resíduo for gerenciado de forma inadequada.”

RESOLUÇÃO CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) 307 de 5 de julho de 2002,

“Artº 1º Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil, disciplinando as ações necessárias de forma a minimizar os impactos ambientais.” (modificada em seu Artº 1º pela RESOLUÇÃO Nº 431, de 24 de maio de 2011.).”

2.3 ESTIMATIVA

Pinto (2005) afirma que o RCD equivale a duas vezes, a quantidade dos resíduos domiciliares. Atualmente, esse valor deve ter aumentado vertiginosamente face ao grande aumento das reformas e de novas construções, ocasionando aumento nos consumos de energia e matéria-prima. (BIDONE, 2001)

A AGEM – Agência Metropolitana da Baixada Santista procedeu através do Consórcio PROEMA/UMAH, o seguinte estudo estabelecendo uma relação do PIB (Produto Interno Bruto) em relação ao RCD, conforme Tabela 7.

TABELA 7 – Estimativa das Quantidades que serão coletados dos RSIE (RCD), em função do crescimento do PIB para os municípios da RMBS (Região Metropolitana da Baixada Santista), sendo RSIE -Resíduos Sólidos Inertes e Entulho.

ANO	CUBATÃO RSIE (t/ano)	ITANHAÉM RSIE (t/ano)	MONAGAGUÁ RSIE (t/ano)	SANTOS RSIE (t/ano)	SÃO VICENTE RSIE (t/ano)
1997	30272	18250	96	81080	17424
1998	31483	18980	100	84323	18121
1999	32742	19739	104	87696	18846
2000	34052	20529	108	91204	19600
2001	35414	21350	112	94852	20384
2002	36831	22204	117	98646	21199
2003	38304	23092	121	102592	22047
2004	39836	24016	126	106696	22929
2005	41429	24976	131	110964	23846
2006	43086	25975	137	115402	24800
2007	44810	27014	142	120018	25792
2008	46602	28095	148	124819	26823
2009	48466	28219	154	129812	27896
2010	50505	30388	160	135004	29012
2011	52421	31603	166	140404	30173
2012	54518	32867	173	146020	31380
2013	56699	34182	180	151861	32635
2014	58967	35549	187	157936	33940
2015	61326	36971	194	164253	35298

Fonte: Plano Diretor de Resíduos Sólidos da Região Metropolitana da Baixada Santista e Estudo de Impacto Ambiental – Relatório de Andamento nº 3 – Consórcio PROEMA/UMAH.

Os valores constantes na Tabela 7 são estimados, mas levando em consideração o aumento considerável das edificações na Baixada Santista, em especial em Santos (Tabela 3), os valores citados têm necessidade de serem confirmados, além disso, não foram consideradas as pequenas reformas em apartamentos e casas. Portanto, a quantidade de resíduo é bem maior que a quantidade estimada na Tabela 7.

2.4. FONTES DE GERAÇÃO DE RESÍDUOS

O resíduo da construção é gerado em vários momentos do ciclo de vida das construções, tais como:

- a) Fase de construção (canteiro);
- b) Fase de manutenção e reformas;
- c) Demolição de edifícios

2.4.1. Fase de Construção (canteiro)

Nesta fase a perda ocorre por deficiência de estocagem e armazenamento, falta de mão de obra especializada, técnica construtiva obsoleta, e principalmente dificuldade de implantação de técnicas inovadoras. Esses elementos acabam ocasionando a necessidade de reserviço e a geração de RCD.

2.4.2 Fase de Manutenção

A geração de resíduo na fase de manutenção está associada a vários fatores:

- a) Correção de defeitos (patologias);
- b) Reformas ou modernização do edifício ou de partes do mesmo, que normalmente exigem demolições parciais;
- c) Descarte de componentes que tenham degradado e atingido o final da vida útil e por isso necessitam ser substituídos.

A redução da geração de resíduos nesta fase vai exigir:

- a) Melhoria da qualidade da construção, de forma a reduzir a manutenção causada pela correção de defeitos;

- b) Projetos flexíveis, que permitam modificações substanciais nos edifícios através da desmontagem que permita a reutilização dos componentes não mais necessários;
- c) aumento da vida útil física dos diferentes componentes e da estrutura dos edifícios.

2.4.3 Demolição de Edifícios

A diminuição dos resíduos causados pela demolição de edifícios depende:

- a) Do prolongamento da vida útil dos edifícios e seus componentes, que depende tanto de tecnologia de projeto quanto de materiais;
- b) Da existência de incentivos para que os proprietários realizem modernização e não demolições;
- c) De tecnologia de projeto e demolição ou desmontagem que permita a reutilização dos componentes.

2.5 ORIGENS DOS MATERIAIS QUE COMPÕEM AS ARGAMASSAS E CONCRETOS

A argamassa (massa) pode ser formada pelas misturas: cal hidratada e areia; cimento e areia; cal hidratada, cimento e areia. O concreto é uma mistura de cimento, água, matérias granulosos inertes (como areia e brita) e, eventualmente, aditivos. A sua fabricação pode ser resumida pelas Equações 1,2 e 3. A principal matéria- prima é a rocha calcária - CaCO_3 .

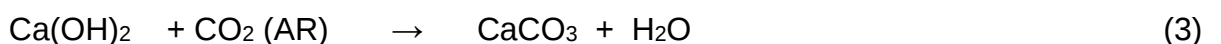
A- calcinação ou queima:



B- hidratação



C- carbonatação



Sendo CaCO_3 carbonato de cálcio, Ca(OH)_2 hidróxido de cálcio, $\text{CO}_2 (\text{AR})$ dióxido de carbono e H_2O água.

As matérias-primas para a fabricação do Cimento Portland são:

Calcário (CaCO_3), argila (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3); gesso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) e as principais impurezas são :

Óxido de sódio Na_2O ; óxido de potássio K_2O ; óxido de titânio TiO_2
No alto forno (reação incipiente) há formação do clínquer, cuja composição está apresentada na Tabela 8.

Tabela 8 – Composição química do clínquer

Clinquer	Fórmula Química	Fórmula simplificada
Silicato bi-cálcico	$2\text{CAO} \cdot \text{SiO}_2$	C_2S
Silicato tri-cálcico	$3\text{CAO} \cdot \text{SiO}_2$	C_3S
Aluminato tri-cálcico	$3\text{CAO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	C_3A
Ferro Aluminato tetra-cálcico	$4\text{CAO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	C_4AF

Pode-se observar que na produção da cal hidratada há emissão de CO_2 para o atmosfera, e na sua utilização há absorção do mesmo.

No caso da produção do Cimento Portland, tal fato não ocorre.

Ao confeccionar-se as argamassas e concretos, os produtos fundamentais do clínquer, reagem com a água formando os compostos indicados nas Equações de 4 a 8.



Sendo H água (H_2O).

Nessas reações não há reabsorção do carbono do ar (CO_2) produzido durante a fabricação do Cimento Portland.

A Indústria de cimento é responsável por aproximadamente 5% das emissões globais.

No Brasil com a adição de materiais como filer, pozolana e escória de alto forno siderúrgico, em substituição ao clínquer, diminuem as emissões de Carbono.

Entretanto, o impacto da demanda ambiental sobre a construção civil não pode ser subestimado, como citado, a adição de produtos ao clínquer podem acarretar problemas ambientais, como por exemplo, a adição de escória de siderurgia (30% a 70%) no cimento Portland CP III.

A escória é um subproduto das indústrias Siderúrgicas e de acordo com a Figura 1, ela é responsável por 11% da emissão de dioxinas no mundo. Assim, para produzir aço, e consequentemente a escória, a Siderúrgica produzirá CO₂ e dioxinas, que acabarão indo para o ar contaminando o meio ambiente.

Portanto, é falsa a afirmação que o uso de escória de alto forno de Siderurgia na fabricação do CPlII, diminui a contaminação do meio ambiente.

Assim, tanto a produção de cal como a de cimento geram CO₂, que segundo John (1996), são lançados em grandes quantidades, isto é, aproximadamente 785 kg de CO₂, ou mais de 590 kg de CO₂ para uma tonelada de cal hidratada.

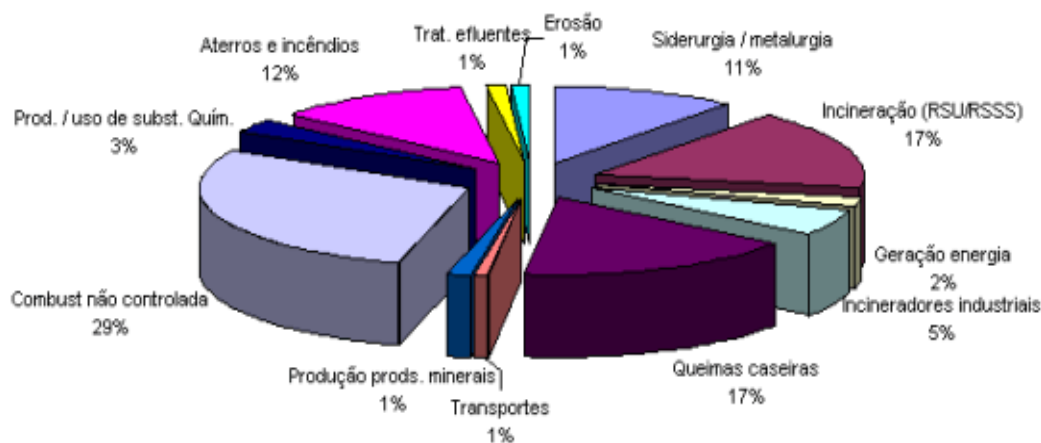
Tabela 9 - Produção de CO₂

CaCO ₃	+	energia	=	CaO	+	CO ₂
1000 g				560 g		440g

Fonte: John (1996)

Principais fontes de emissão de dioxinas no mundo

(dados de inventários entre 1995 e 2005)



Dados obtidos dos inventários nacionais mais recentes disponíveis na internet dos seguintes países: Alemanha; Uruguay; Chile; Argentina; Ireland; Japão; México; Paraguai; EUA; Austrália; Dinamarca

Figura 1 - Dioxinas e furanos: Origens e Riscos

Fonte: <http://dioxinas.upan.org.br>

Kilbert (1995) propôs seis princípios:

- a) Minimizar o consumo de recursos (Conservar);
- b) Maximizar a reutilização de recursos (Reuso);
- c) Usar recursos renováveis ou recicláveis (Renovar / Reciclar);
- d) Proteger o meio ambiente (Proteção da Natureza);
- e) Criar um ambiente saudável e não tóxico (Não tóxicos);
- f) Buscar a qualidade na criação do ambiente construído.

O uso de RCD vem de encontro com os princípios de KILBERT e o seu estudo deve ser incentivado e utilizado.

3 MATERIAIS E MÉTODOS.

3.1 MATERIAS

Visando a aplicação dos princípios de Kilbert(1995), buscou-se uma aplicação prática que diminua o desperdício dos materiais utilizados na construção civil, bem como serviria de subsídio para minimizar o impacto no meio ambiente ocasionado pelo transporte e estocagem indevida do RCD.

Assim, procedeu-se a retirada de RCD de obras, reformas de imóveis novos, antigos e de demolição de edificações. (Figuras 2, 3 e 4)



Figura 2 - Entulho de obra nova



Figura 3 - Entulho de obra em demolição



Figura 4 – Resíduo demolição de obra residencial no estado inicial

Após a retirada do entulho da obra, fez-se uma triagem, separando os materiais metálicos, papel, madeira, procedeu-se a moagem do material, e obtiveram-se os seguintes produtos após a trituração no moinho de bolas: (Figuras 5 a 12).



Figura 5 – Aparelho Los Angeles, moinho de bolas, que foi utilizado como triturador.



Figura 6 – Residuo de construção após a trituração no Los Angeles.

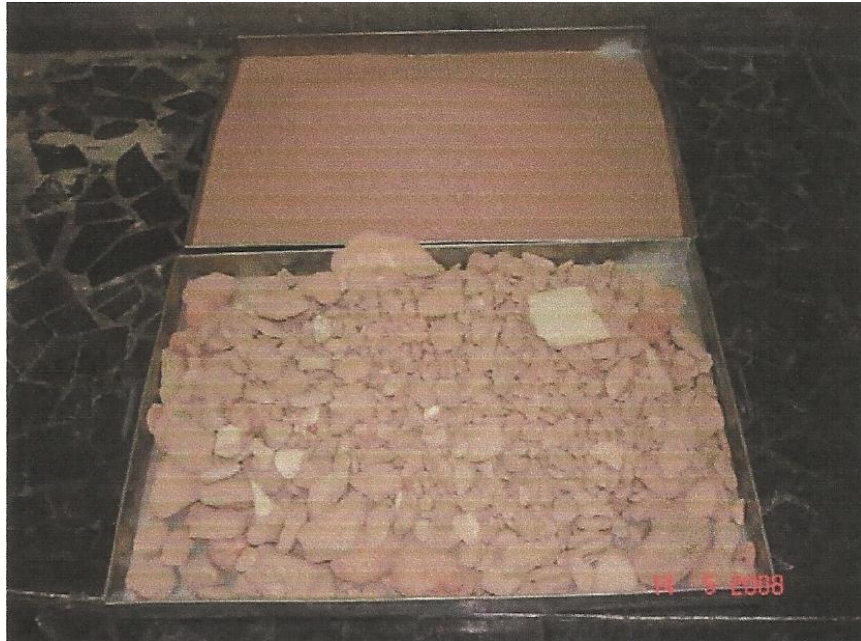


Figura 7 – Material separado após a trituração.



Figura 8– Material após a trituração.



Figura 9 – Aparelho de quarteamento (quarteador).



Figura 10 - Agregado graúdo sem granulometria definida.



Figura 11 - Agregado miúdo. sem granulometria definida.



Figura 12 - Mistura do agregado miúdo com cimento e água (argamassa).

Os materiais, após a trituração utilizando o moinho Los Angeles, apresentaram as características de acordo com as Tabelas 10, 11 e 12.



**Figura 13 – Agregado miúdo de resíduo de obra obtido em usina de processamento.
com granulometria definida.**



**Figura 14 – Agregado graúdo de resíduo de obra obtido em usina de processamento.
com granulometria definida.**

Tabela 10 – Resíduo de demolição de residência

Abertura. nominal de peneiras em mm	Material. Retido em gramas	% retida	% acumulada
37,5			
*31,5			
*25			
19			
*12,5			
9,5			
*6,3	*29,76	*3	* 3
4,75	34,02	4	7
2,36	77,72	8	15
1,18	83,23	8	23
0,6	151,78	15	38
0,3	198,88	20	58
0,15	264,00	26	84
Fundo peneira	*160,61	*16	*100
Total	1000	100	332

Observações:

ABNT-NBR 7211 e NBR 7217

* peneiras intermediárias e fundo de peneiras.

Módulo de Finura = 2,25

Classificação do material= agregado miúdo = areia média

Dimensão máxima característica =D”Max. = 6,3 mm

Tabela 11 – Resíduo retirado da usina de beneficiamento

Abertura. nominal de peneiras em mm	Material. Retido em gramas	% retida	% acumulada
37,5			
*31,5			
*25			
19			
*12,5			
9,5			
*6,3			
4,75	120	12	12
2,36	130	13	25
1,18	134	14	39
0,6	211	21	70
0,3	223	22	92
0,15	123	12	94
Fundo peneira	*59	*6	*100
Total	1000	100	332

Observações:

ABNT-NBR 7211 e NBR 7217

* peneiras intermediárias e fundo de peneiras.

Módulo de Finura = 3,32

Classificação do material= agregado miúdo = areia grossa

Dimensão máxima característica =D"Max. = 6,3 mm

Índice de material Pulverulento = 9,2% ABNT-NBR 7217 e NBR 7219

Determinação do pH

Areia de rio pH = 6,83

Areia RCD pH = 11,7

Tabela 12 – Resíduo retirado de usina de beneficiamento.

Abertura. nominal de peneiras em mm	Material Retido em gramas	% retida	% acumulada
37,5			
*31,5			
*25			
19			
*12,5	* 2050	* 41	*41
9,5	1700	34	75
*6,3	* 1191	*24	* 99
4,75	47	1	100
2,36	9	0	100
1,18	3	0	100
0,6	0	0	100
0,3	0	0	100
0,15	0	0	100
Fundo peneira	*0	*0	*100
Total	5000	100	675

Observações:

ABNT-NBR 7211 e NBR 7217

* peneiras intermediárias e fundo de peneiras.

Módulo de Finura = 6,75

Classificação do material= agregado graúdo, graduação pedra britada nº 01
desbitolada para menos.

Dimensão máxima característica = D"Max. = 19,0 mm

Índice de material pulverulento = 3,4% ABNT-NBR 7217 e NBR 7219

Determinação do pH Agregado Graúdo (RCD) pH = 9,91

Observação: Os agregados da usina de beneficiamento de RCD, apresentaram pH mais baixo que o de concreto e de argamassa (massa) ocasionado pela carbonatação dos mesmos,

A tabela 13 apresenta a relação entre a abertura nominal de peneiras e a porcentagem acumulada que passa da areia usinada. A figura 15 fornece dados de utilização da areia do resíduo industrializado.

Tabela 13 – comparação da granulométrica da areia usinada com os limites NBR 7211 – ABNT

Abertura nominal de peneiras em mm	Porcentagem acumulada que passa				
	Tabela 11 Resíduo de usina	Limite inferior Zona utilizável	Limite inferior Zona ótima	Limite superior Zona ótima	Limite superior Zona utilizável
9,50	100	100	100	100	100
* 6,30	100	100	100	100	93
4,75	88	100	100	95	90
2,36	75	100	90	80	75
1,18	61	95	80	70	50
0,60	30	85	65	45	30
0,30	8	50	35	15	5
0,15	6	15	10	5	0
	0	0	0	0	0

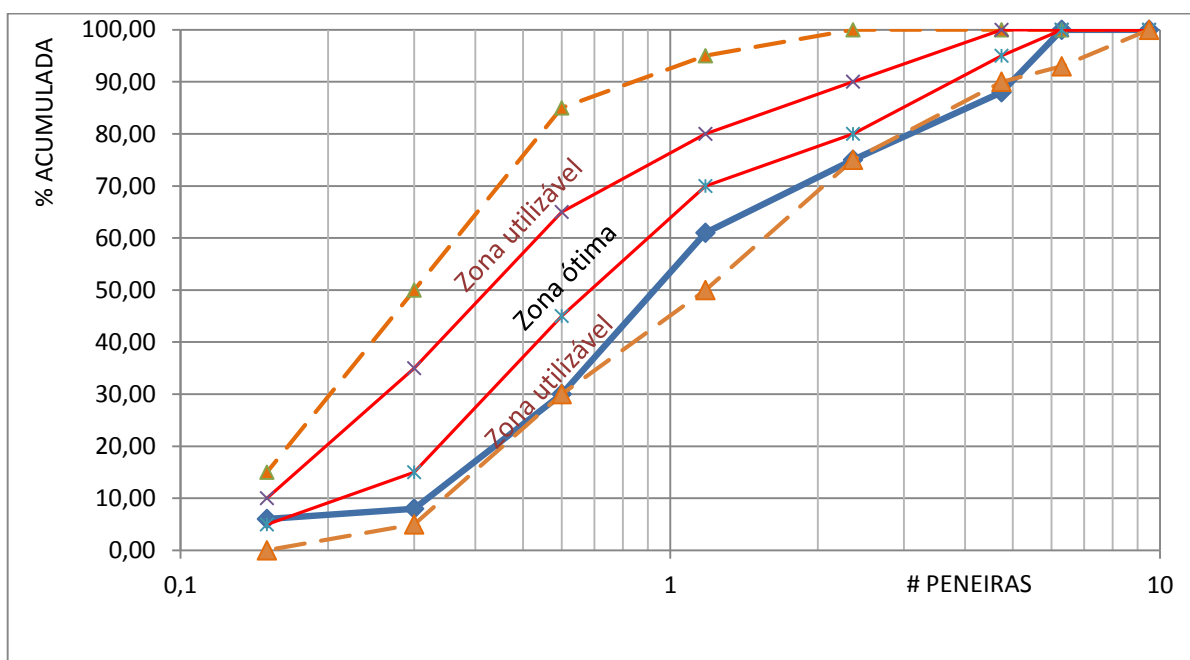


Figura 15-Representação das zonas utilizável e ótima e o comportamento da areia de resíduo industrializada (azul).

3.2 - MÉTODOS

Com os RCD procedeu-se a confecção dos seguintes materiais de construção civil:

3.2.1 - Lajotas de Concreto para Pavimentação

As lajotas de concreto foram confeccionadas com Cimento Portland, do tipo CP-III-, classe 32, material fabricado e existente na região, RCD e amostras junto a fabricante de peças de concreto da região, no caso lajotas sextavadas de concreto para pavimentação, bem como as dosagens, de acordo com a Tabela 14.

TABELA 14 – Dosagens de concreto utilizadas pelos fabricantes de lajotas sextavadas (kg), sendo f_{c28} a resistência de ruptura a compressão na idade de 28 dias, e P0 (pedra nº zero) ou pedrisco, variando o tamanho do grão de 4,75 mm a 12,5 mm, P1 (pedra nº 1) de 9,5 mm a 25,0 mm e P2 (pedra nº 2) de 19,0 mm a 31,5 mm, e $x = a/c$, o fator água/cimento.

Lajotas	f_{c28} MPa	Consumo kg/m ³	Cimento	Areia	Pó de pedra	Po	P 1	P 2	$X=a/c$
10	30,0	306,75	1	2,15	1,3	0,87	1,06	0,87	0,68
10	35,0	343,64	1	1,77	1,1	0,82	0,99	0,82	0,52
08*	35,0	343,64	1	1,77	1,1	1,20	1,43	-----	0,52
10	40,0	380,23	1	1,56	0,98	0,73	0,88	0,73	0,47
08	40,0	380,23	1	1,56	0,98	1,07	1,27	-----	0,47
10	50,0	406,50	1	1,35	0,90	0,72	0,81	0,72	0,44
08	50,0	406,50	1	1,35	0,90	1,03	1,22	-----	0,44

Foi utilizada a dosagem próxima a da lajota 08* com a proporção, em massa (peso) de 1:5,5 e o valor do fator em massa (peso) água/cimento $X = \text{água/cimento} = a/c$, de 0,52.

As quantidades obtidas, Tabela 14, estão citadas na Tabela 15.

TABELA 15 - dosagem por correção de umidade (água).

Material	Demolição (g)	Fabricante g)	Usina (g)
Cimento	5716	5716	5716
Areia	23529	23529	23529
Pedrisco Po	7843	7843	7843
Água 8 %	2972	2972	2972
Água 10 %	736,5	736,5	736,5
Água 12,5 %	928,1	928,1	928,1
Água 15,06 %	950	-----	-----

Na confecção das lajotas sextavadas foram utilizadas formas plásticas (figura 16) com dimensões de 25 cm x 25 cm x 8 cm (ABNT – NBR 9781/87 – Peças de concreto para pavimentação – Especificação), e para vibração a mesa “flow-table” (Figura 17). Foram utilizadas, também, formas cilíndricas de altura 30 cm e diâmetro 15 cm.(ABNT – NBR 5738 e NBR 5739).

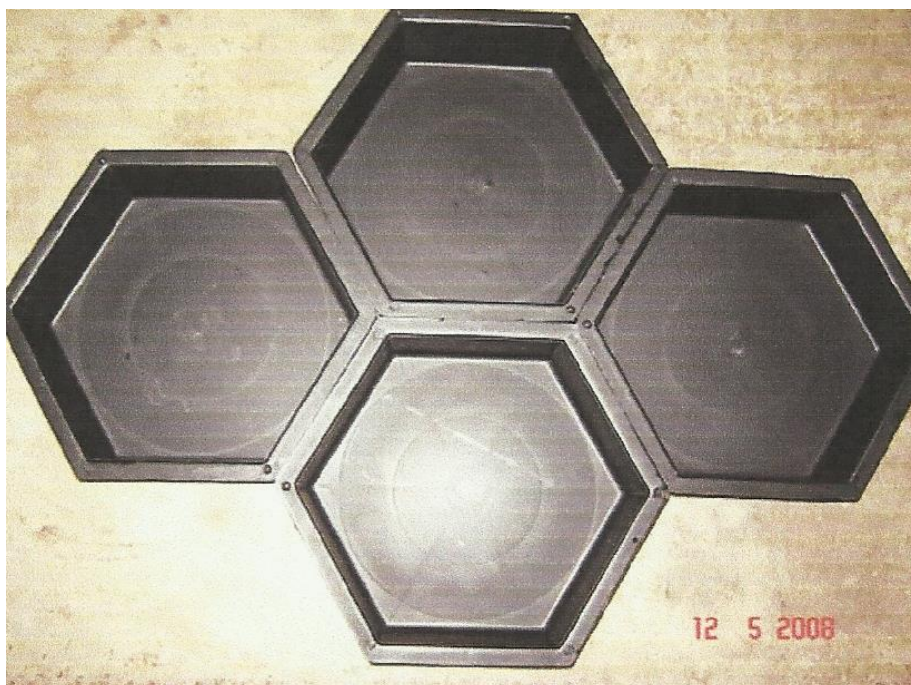
**Figura 16 – Forma plástica de lajota sextavada.**



Figura 17 - Mesa de determinação da consistência “flow table”.

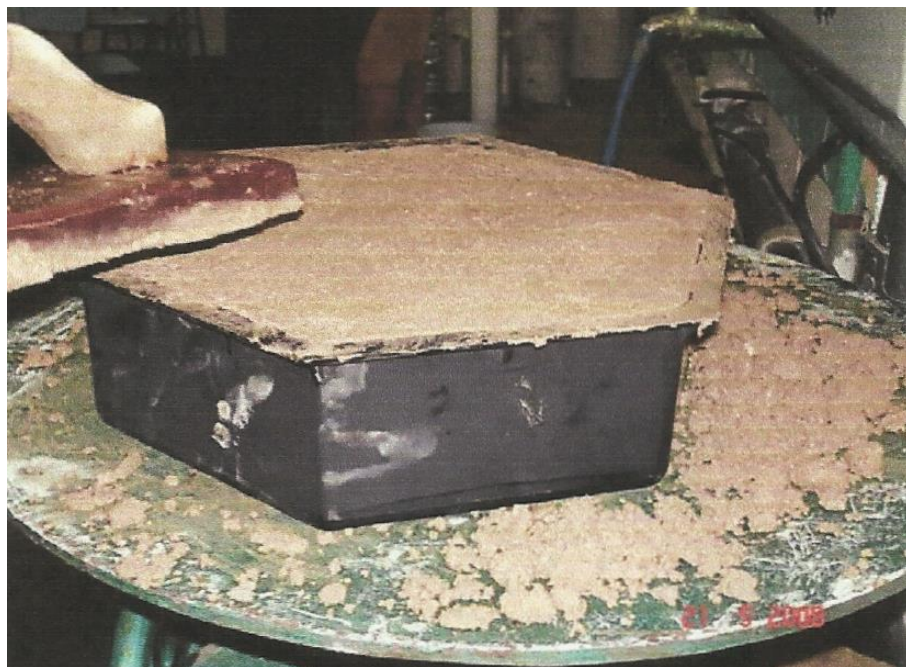


Figura 18 – Moldagem da lajota utilizando como mesa vibratória a “flow table”.

3.2.2 Confeção dos Corpos de Prova para Teste de Resistência à Compressão

De acordo com a ABNT – NBR 9780/87, NBR 9781/87, a ruptura das peças pré-fabricadas de pavimentação devem obedecer às seguintes regras:

“- item 5.3. – caso a largura da peça, definida de acordo com a 18:07.04-002, seja superior a 140mm, a peça deve ser cortada, com o auxílio de guilhotina, ou serrada, de modo que a nova largura não exceda esse limite”.

A experiência ocorreu com resíduos de obras de Santos, podendo variar de local para local.

Considerando, ainda, a NBR 9780/87, no que diz respeito à execução do ensaio de compressão, têm-se:

“Placas auxiliares de ensaio. As duas placas auxiliares de ensaio devem ser circulares, com diâmetro de $(90 \pm 0,5)$ mm, confeccionadas de aço, com dureza superficial maior que 60 RC. Suas superfícies não devem apresentar afastamento com relação a uma superfície plana de contato, tomada como referência, de mais de 0,01mm em 90 mm. As placas auxiliares devem ser acopladas a máquina de ensaio de compressão, uma no prato inferior e outra no superior, de maneira que seus eixos verticais centrais fiquem perfeitamente alinhados.”

A seguir demonstra-se como foi executado o ensaio de ruptura (Figuras 17 e 18) e a memória de cálculo.



Figura 19- Lajota confeccionado com resíduo de demolição.



Figura 20 - Lajota de resíduo de demolição após o ensaio de ruptura a compressão.

Visando calcular a resistência das peças de concreto utilizaram-se as Equações 9 e 10

Área de círculo (A)

$$A = \pi \frac{d^2}{4} \quad (9)$$

Sendo

d o diâmetro de 90 mm.

Resistência (f_{cj})

$$f_{cj} = \frac{\text{carga}}{\text{área}} = \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} / g = \text{MPa} \quad (10)$$

O valor g refere-se a aceleração da gravidade, que de acordo com as normas, é igual 10 m/s², para simplificar os cálculos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a coleta de amostras junto a demolição de residências e de resíduos de obras em execução, foi feita a triagem, ocorrendo a separação dos materiais ferrosos, madeiras, gesso, plásticos, resíduos de tinta látex, e foi realizada a moagem dos resíduos com o moinho Los Angeles, o que possibilitou a determinação granulométrica do RCD e do RCC, (Figuras 10,11,12,13 e figura13).

Assim, com o material foi realizada a moldagem de peças de concreto do tipo lajota, utilizando a dosagem estabelecida nas tabelas 14 e 15, que na idade de 28 dias foram rompidas e apresentaram os resultados descritos nas Tabelas 18, 19 e 20.

Os referidos valores foram corrigidos pelo fator multiplicativo (fp) e fator de correção (fc), previstos em normas da ABNT, conforme preconizado a seguir: NBR 9781 / 1987- Peças de concreto para pavimentação. Determinação da resistência à compressão.

5.4.1. – A resistência à compressão (em MPa) de peça é obtida dividindo-se a carga de ruptura (em N) pela área de carregamento (em mm²), multiplicando-se o resultado pelo fator “p”, função da altura da peça, (Tabela 16)

Tabela 16 –Fator multiplicativo “p”

Altura nominal da peça (mm)	Fator multiplicativo “p”
60	0,95
80	1,00
100	1,05

Por outro lado, como a relação altura e diâmetro do corpo de prova não obedece a razão 2 para 1, a norma NM 69:96 preconiza o que se segue:

ABNT NM 69 : 96 - Concreto - extração, preparação e ensaio de testemunhos de estrutura de concreto.

6.2.6.1 Se a razão entre a altura e o diâmetro médio do testemunho for inferior a dois, a resistência específica de ruptura à compressão obtida segundo 6.2.3.1 deve ser multiplicada pelo fator definido na Tabela 1 (equivale a Tabela 17) e aproximado ao 0,1 MPa (1 kgf/cm²) mais próximo.

Tabela 17 - Fator de correção (f_c)

H / D	f_c
2,00	1,00
1,75	0,98
1,50	0,96
1,25	0,93
1,00	0,87

Sendo H / D equivalente à relação altura / diâmetro.

Analizando as primeiras amostras com material argiloso coletadas na demolição de residências, RCD, foi constatada a existência de grande quantidade de impurezas que são responsáveis por perda da qualidade dos materiais que vierem a ser confeccionados com os mesmos, tais como: tijolos de barro, telas de barro, etc.(Figura 21 e 22)



Figura 21 - Lajota de resíduo de demolição após o ensaio de ruptura onde podemos constatar a presença de vazios, e ruptura na vertical.



Figura 22 - Lajota de resíduo de demolição após o ensaio de ruptura.

A comprovação da influência desses resíduos são os baixos resultados obtidos na confecção de lajotas de concreto, com a utilização do RCD como material inerte, isto é, como agregado, tanto miúdo (areia) como graúdo (pedra britada) que provocaram falta de aderência de alguns agregados graúdos.

A tabela 18 fornece os resultados de ruptura a 28 dias das peças confeccionadas com RCD, com a presença acentuada de material argiloso.

Tabela 18 – Cálculo da resistência a compressão, rompidos 28 dias e cálculo do desvio padrão em lajotas de RCD.

Lajotas de RCD								
corpo de prova	Carga (kgf)	Área (cm ²)	fc28 (kgf/cm ²)	fc28 (MPa)	"p"	fc	fc28 (MPa)	Desvio padrão (MPa)
01-A	2111,5	63,6	33,2	3,32	1,00	0,87	2,89	--
01-B	2537,6	63,6	39,9	3,99	1,00	0,87	3,47	--
02-A	2957,0	63,6	46,5	4,65	1,00	0,87	4,04	--
02-B	3097,0	63,6	48,7	4,87	1,00	0,87	4,23	--
fcm=média aritmética	2811,0	63,6	44,2	4,42	1,00	0,87	3,66	0,605

Os mesmos ensaios foram realizados com as peças fornecidas por fabricante da região, quanto a ruptura (Tabela 19) e com lajotas de RCD com concreto de caminhão betoneira (Tabela 20).



Figura 23 - Lajota de resíduo usinado do fabricante após o ensaio de ruptura.



Figura 24 – Lajota após o ensaio, com a formação do cone de ruptura, que demonstra maneira correta da ruptura do corpo de prova (NBR 5739).

Tabela 19 – Cálculo da resistência a compressão, rompidos 28 dias e cálculo do desvio padrão lajotas industriais. Cada lajota foi dividida em duas partes, A e B .

corpo de prova	Carga kgf	Área cm ²	fc28 kgf/cm ²	fc28 MPa	“p”	fc	fc28 MPa	Desvio padrão MPa
3-A	6620	63,6	104,0	10,40	1,00	0,87	9,05	
3-B	6900	63,6	108,5	10,85	1,00	0,87	9,44	
4-A	6620	63,6	104,0	10,40	1,00	0,87	9,05	
4-B	6760	63,6	106,3	10,63	1,00	0,87	9,25	
fcm=média aritmética	6722	63,6	105,7	10,57	1,00	0,87	9,19	0,187

Tabela 20 – Cálculo da resistência a compressão, rompidos 28 dias e cálculo do desvio padrão, lajotas de RCD de concreto usinado.

corpo de prova	Carga (kgf)	Área cm ²	fc28 kgf/cm ²	fc28 MPa	“p”	fc	fc28 MPa	Desvio padrão MPa
5-A	8446	63,6	132,8	13,28	1,00	0,87	11,55	
5-B	8446	63,6	132,8	13,28	1,00	0,87	11,55	
6-C	8732	63,6	137,3	13,73	1,00	0,87	11,94	
6-D	8592	63,6	135,1	13,51	1,00	0,87	11,75	
fcm=média aritmética	8554	63,6	134,5	13,45	1,00	0,87	11,69	0,187

Analisando as Tabelas 19 e 20, existe coerência em seus resultados. O fc28 das lajotas de RCD com concreto usinado, foi aproximadamente 27% maior que os de lajotas industriais

De acordo com a ACI 214-77, os resultados podem de classificados como Excelentes em função do desvio padrão em (Tabela 21).

Tabela 21 –Controle de Qualidade - ACI 214-77.

Nível de controle	Desvio Padrão Previsto (MPa)	
	Obras correntes	Laboratório
Excelente	Menor que 3,0	Menor que 1,5
Muito bom	3,0 a 3,5	1,5
Bom	3,5 a 4,0	1,5 a 2,0
Razoável	4,0 a 5,0	2,0 a 2,5
Fraco	Maior que 5,0	Maior que 2,5

Fonte: Neville (1982)

5. CONCLUSÃO E SUGESTÃO

5.1. AMOSTRAGEM

A coleta de material, RCD, ocorreu em obras que foram demolidas e obras em construção (Figuras 2 e 3). Posteriormente, em laboratório, foi feita uma reciclagem primária com a retirada de materiais ferrosos, madeira, plásticos, asfalto, etc. Após essa limpeza, foi executado o quarteamento manual e/ou mecânico (figura 9), até se alcançar a quantidade de material necessária para a pesquisa (NBR NM 26:2009 E NBR 27:2001).

5.2. – NOMECLATURA DO MATERIAL RECICLADO.

Da amostra foram obtidos os seguintes materiais:

a) Argamassa

Mistura de agregado miúdo (areia) e aglomerante (cimento portland e/ou cal hidratada) utilizada no assentamento dos elementos de alvenaria e no revestimento das mesmas.

b) Material cerâmico:

Elementos utilizados no levantamento de paredes de alvenaria (tijolos), na cobertura (telhas), e no revestimento de paredes e pisos (azulejos e pisos cerâmicos).

c) Concreto:

Mistura de água, cimento Portland, areia e pedra britada, utilizada na confecção da estrutura.

d) Material ferroso, madeira, plástico, asfalto, etc.

Materiais utilizados na construção que foram separados inicialmente após a demolição.

5.3. GRANULOMETRIA (NBR 7211)

Os materiais do tipo argamassa e concreto, após serem reciclados, isto é, sofrerem a limpeza, o quarteamento (Figura 9)(NBR NM 26:2009 E NBR 27:2001), e a trituração (Figura 5), foram submetidos ao ensaio de determinação granulométrica (granulometria), de acordo com a NBR 7211.

5.4. MOLDAGEM DAS PEÇAS DE CONCRETO.

A moldagem das peças de concreto seguiu os parâmetros normais de confecção de lajotas sextavadas de concreto (Figuras 17 e 18).

5.5. DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA DAS PEÇAS DE CONCRETO.

A ruptura das peças de concreto (lajotas), obedeceu as normas da ABNT (NBR 9780), isto é, as peças de concreto (lajotas) foram divididas em duas metades (A e B), sendo submetidas cada parte ao ensaio de compressão, com a colocação de dois discos, respectivamente um na parte superior e outro na parte inferior, para a seguir proceder-se a compressão dos corpos de prova (Figuras 19, 20, 23 e 24).

Os resultados obtidos nas Tabelas 19 e 20 indicaram a coerência entre os mesmos.

5.6. DETERMINAÇÃO DA ESPESSURA DAS PEÇAS DE CONCRETO

A determinação da espessura das peças de concreto foi realizada pelos critérios estabelecidos por Senço (1964)

No referido trabalho define-se a espessura da peça de concreto, lajota sextavada, da seguinte maneira:

- a) se o material do subleito possuir uma capacidade de suporte traduzida por um CBR (Índice de Suporte Califórnia) 20%, o pavimento (base da areia e revestimento) pode ser executado diretamente sobre o subleito preparado, sendo desnecessário a sub-base.
- b) em casos de ruas de tráfego pouco intenso e de veículos leves – principalmente em bairros essencialmente residenciais – pode-se desprezar o dimensionamento. A experiência, nesse particular, tem demonstrado o bom comportamento do pavimento sem sub-base;
- c) o sistema de articulações deve ,merecer uma atenção toda especial, pois uma transmissão deficiente de carga torna inúteis as hipóteses iniciais feitas;
- d) desde que a base e o revestimento tenham espessuras pré-fixadas, a determinação do CBR do subleito serve inicialmente como verificação. Se não for atingido o valor mínimo que isenta o pavimento da sub-base – e as condições de tráfego exigirem a construção dessa sub-base – esta em geral, é

executada com abertura de caixa para receber o material importado, pois a cota superior do pavimento é determinada em relação ao nível das guias;

- e) o estudo do dimensionamento apresentado – no que se refere à transmissão de carga – pode ser estendido aos blocos quadrados com transmissão em duas faces apenas, desde que para a mesma carga aplicada à área de cada bloco seja acrescida de um valor que compense a deficiência acarretada pelo menor número de faces transmissoras de carga.

Utilizando o método CBR para o cálculo da espessura do pavimento, fórmula esta aplicada no estudo dos pavimentos com paralelepípedos, e admitindo 50 % da carga por roda, tem-se,

Tem-se

$$e = \frac{100 + 150 \sqrt{\frac{p}{2}}}{I_s + 5} \quad (11)$$

Sendo;

e = a espessura total do pavimento, em cm,

p = a carga por roda, em toneladas;

I_s o CBR do subleito, em porcentagem;

por exemplo, com p de 6,0 ton e I_s de 5 % obtém-se

$$e = \frac{100 + 150 \sqrt{\frac{6}{2}}}{5 + 5} \quad (12)$$

e = 36,0 cm

Como o assentamento da peça de concreto (lajota) é feito sob um colchão de areia, com espessura de 4cm, a base mais o revestimento é fixada em 14 cm,

sendo 10 cm da lajota e 4 cm da base de areia, o que resulta para a sub-base 22cm. , portando, procedendo ao cálculo do I_s, obtém-se :

$$14 = \frac{100 + 150\sqrt{\frac{6}{2}}}{I_s + 5} = \frac{360}{I_s + 5} \quad (13)$$

$$I_s = \frac{360}{14} - 5 \cong 20,5 \% \quad (14)$$

Assim, em cada camada do pavimento, temos:

Subleito: solo local de CBR = 5%

Sub-base granular: solo de CBR = 20,5%.....22 cm

Base: areia.....4 cm

Revestimento: blocos pré-moldados.....10 cm

Total.....36 cm

Pode-se verificar no critério citado que a carga do veículo, por roda, encontra-se distribuída nas camadas consideradas, isto é, sub-base, base e revestimento.

O cálculo do valor da resistência do bloco de concreto pré-fabricado, será apresentado a seguir.

5.7. ANÁLISE DOS RESULTADOS.

Os resultados das peças de concreto pré-fabricadas, confeccionadas com RCD e Industrializadas (Tabelas 18, 19 e 20) foram submetidas à análise, comparando os seus resultados e finalmente, com o valor estabelecido pela especificação brasileira NBR 9781 – 1997, cujas valores preconizados em norma são os seguintes:

“6.5.- ENSAIO

6.6 Valor característico da resistência à compressão

Admite-se que as resistências à compressão obedeçam à distribuição normal, sendo o valor característico estimado pela expressão:

$$f_{pk} = f_p - (t \cdot S) \quad (15)$$

Sendo:

f_{pk} a resistência característica à compressão, em MPa;

f_p a resistência média das peças ensaiadas de acordo com a NBR 9780, em MPa;

S o desvio padrão, em MPa.

t o coeficiente de STUDENT (nível de confiança de 80 %)”

Inicialmente, foram comparados os resultados das Tabelas 18,19 e 20,

Os valores obtidos na Tabela 18 (Figuras 21 e 22) foram abandonados por apresentarem-se contaminados por material argiloso.

Com os valores das Tabelas 19 e 20, foi calculada a resistência característica à compressão, em MPa, cujo resultado é o seguinte:

Resultados da tabela 19– Cálculo da resistência a compressão, rompidos 28 dias
(lajotas industriais)

f_{pk} = resistência característica à compressão, em MPa;

f_p = resistência média das peças ensaiadas de acordo com a NBR 9780
= 9,17 MPa

S = desvio padrão, = 0,187 MPa

t = 0,960

$f_{pk} = f_p - (t . S)$

$f_{pk} = 9,17 - (0,960 \times 0,187)$ (16)

$f_{pk} = 8,9 \text{ MP a.}$ (17)

Resultados da Tabela 20 – Cálculo da resistência a compressão, rompidos 28 dias

(RCD usinado)

f_{pk} = resistência característica à compressão, em MPa;

f_p = resistência média das peças ensaiadas de acordo com a NBR 9780
= 11,69 MPa

S = desvio padrão, = 0,187 MPa

t = 0,960

$f_{pk} = f_p - (t \cdot S)$

$f_{pk} = 11,69 - (0,960 \times 0,187)$ (18)

$f_{pk} = 11,50$ MPa. (19)

Analisando ambos os resultados pode ser afirmado que os valores obtidos apresentam, para as peças confeccionadas em laboratório, valor 29 % maior que o valor obtido nas peças industrializados. A explicação para tal fato, é que as peças fabricadas em laboratório possuem um controle de qualidade mais acentuado que as fabricadas nas indústrias.

Em laboratório as moldagens são feitas obedecendo aos seguintes critérios:

- a) pessoas especializadas;
- b) os materiais são submetidos a ensaios especiais como;
 1. determinação da umidade;
 2. determinação da composição granulométrica;
 3. classificação do material;
 4. determinação de torrões de argila e material friável;
 5. determinação de material pulverulento;
 6. determinação da massa específica absoluta;
 7. ensaio do tempo de início de pega do cimento Portland;
 8. ensaio do tempo de fim de pega do cimento Portland;
 9. ensaio de finura por peneiramento do cimento Portland;
 10. ensaio através do permeâmetro de Blaine;
 11. moldagem das peças com todos os materiais em peso (massa).

No que se refere às peças industrializadas, as mesmas nem sempre obedecem ao controle de qualidade rígido, conforme o critério em laboratório.

5.8. COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS EM RELAÇÃO ‘A ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA.

A especificação técnica da ABNT, NBR 9781 – 1987 preconiza ao que se segue:

“5- CONDIÇÕES ESPECÍFICAS

5.1. a resistência característica estimada à compressão, calculada de acordo com 6.5 deve ser:

- a) maior ou igual a 35 MPa, para as solicitações de veículos comerciais de linha;
- b) maior ou igual a 50 MPa, quando houver tráfego de veículos especiais ou solicitações capazes de produzir acentuados efeitos de abrasão.”

Ao comparar os resultados das Tabelas 19 e 20, estes estão bem aquém dos valores da especificação técnica , NBR 9781-1987, entretanto, os mesmos poderão ser corrigidos através de um controle tecnológico.

5.9. CONCLUSÃO.

Os resultados nas Tabelas 19 e 20, serviram como elemento de comparação, e para demonstrar a possibilidade de utilização do RCD como matéria-prima na elaboração de argamassas e concretos visando a confecção de pisos e lajotas, incrementando a sustentabilidade da construção civil

Pode-se afirmar que o uso do RCD é restrito ao concreto convencional, não devendo ser usado em estruturas de concreto armado, devido a grande variação de resistência do mesmo, o qual obrigaria alterações constantes na composição da dosagem, isto é, no traço de concreto

As observações supracitadas, também se aplicam aos materiais obtidos em usinas de reciclagem de RCD.

6. SUGESTÃO PARA FUTURAS PESQUISAS

Como sugestão de futuras pesquisas, pode ser enumeradas as seguintes aplicações do RCD:

A) Argamassa de assentamento e de revestimento.

A sua fabricação pode ser feita na própria obra. No passado havia uma construtora em Santos que aproveitava o resíduo da obra como argamassa de assentamento e de revestimento, possuindo, na própria obra, moinhos de trituração ($\cong$ 20 anos atrás).

B) Fabricação de tijolos maciços;

C) Fabricação de blocos de concreto;

D) Fabricação de guias;

E) Fabricação de sarjetas;

F) Fabricação de telhas;

G) Fabricação de ladrilhos de calçadas;

H) Fabricação de placas e pilares para muros divisórios.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT- NBR NM 26:2009 E NBR 27:2001 Amostragem de agregados e redução para ensaios de laboratório.

ABNT NM 69 : 96 - Concreto - extração, preparação e ensaio de testemunhos de estrutura de concreto.

ABNT-NBR 10004: - Resíduos Sólidos - Classificação.

ABNT-NBR-5738 – Concreto Procedimento Moldagem de cura de corpos de prova

ABNT-NBR 5739 – Concreto –Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos.

Método de ensaio,

ABNT-NBR 7211 – Agregados para concreto- Especificação.

ABNT-NBR 7217: - Determinação da composição granulométrica –

Método de Ensaio.

ABNT-NBR 7219 – Determinação de material pulverulento- Método de Ensaio.

ABNT-NBR 9780: Peças de concreto para pavimentação-Especificação

ABNT- NBR 9781- Peças de concreto para pavimentação- Determinação da resistência à compressão.- Método de Ensaio.

ACI -214-77 – Controle Tecnológico de Concreto -Recomendações praticas do teste de resistencia em resultados de concreto (1977).

BARROS,..Proposta de gestão sustentável dos resíduos sólidos da construção civil no Município de Fortaleza, 2004.

BIDONE, Francisco R.A. Resíduos sólidos provenientes de coletas especiais: reciclagem e disposição final. 1ª edição, Rio de Janeiro. 2001.

CONAMA. Resolução nº 307 – Dispõe sobre resíduos da construção civil, de 05 de julho de 2002. CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente, Brasília, DF, 2002.

CONAMA. RESOLUÇÃO 431 – Alteração do artigo 3º da Resolução 307 -24 de maio de 2011

GUNTHER, W.M.R. Minimização de resíduos e educação ambiental. In: Seminário Nacional de resíduos sólidos e limpeza pública, 7. Curitiba, 2000.

JOHN, Vanderley M. Desenvolvimento sustentável, construção civil, reciclagem e trabalho multidisciplinar -1996

KILBERT,.Desenvolvimento sustentável, construção civil, reciclagem e trabalho multidisciplinar. 1995

NEVILLE Adan M – Propriedades do Concreto –Tradução Salvador E. Giammusso – Ed. PINI- 1982

PINTO, 1999 apud CASTRO 2003 – Destinação dos resíduos de construção e demolição na área insular do município de Santos e seus impactos sanitários e ambientais, São Paulo:USP, Faculdade de Saúde Pública, 2003. Pág. 4

PINTO, T. P. – A nova legislação para resíduos da construção. Técnica, São Paulo, nº .82, p 62-64, janeiro, 2004.

PINTO, T.P. – Perdas de materiais em processos construtivos tradicionais. São Carlos: UFSC, Departamento de Engenharia Civil, 1989.

PINTO, T. P; apud GONZÁLEZ, Juan Luís Rodrigo. Guia profissional para uma gestão correta dos resíduos da construção. São Paulo: CREA-SP, 2005.

PORTO, M. e VASCONCELOS, S. Gestão de projeto de reaproveitamento dos entulhos de concreto gerados pela construção civil. XXX Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2010.

PROEMA/UMAH:- Plano Diretor de Resíduos Sólidos da Região Metropolitana da Baixada Santista e Estudo de Impacto Ambiental – Relatório de Andamento nº 3 – Consórcio PROEMA/UMAH

REVISTA DE SAÚDE PÚBLICA - ISSN 0034-8910- OUT. 1999

SENÇO, Wlastemiler de – Pavimentação – Grêmio Politécnico – USP. 1ª Edição

8. GLOSSÁRIO

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ACI – Instituto Americano do Concreto

AGEM – Agência Metropolitana da Baixada Santista

AGREGADO GRAÚDO - agregados cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 4,75 MM, em ensaio realizado de acordo com a ABNT NBR NM 248, com peneiras definidas pela ABNT NBR NM ISO 3310-1.

AGREGADO MIÚDO – agregados cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 150 µm (0,15mm), em ensaio realizado de acordo com a ABNT NBR NM 248, com peneiras definidas pela ABNT NBR NM ISO 3310-1.

ARGAMASSA – é a mistura de aglomerante (cimento e/ou cal), agregado miúdo (areia) e água. (pH entre 12 e 13) (L.A.F.Bauer – Materiais de Construção) britada). É utilizado, em obra, o nome traço de concreto.

CONCRETO – é a mistura de aglomerante (cimento), agregado miúdo (areia), agregado graúdo (brita) e água. (pH entre 12 e 13) (L.A.F.Bauer – Materiais de Construção).

DIMENSÃO MÁXIMA CARACTERÍSTICA = D´MAX.= Abertura nominal de peneiras, em mm, que apresenta uma porcentagem retida e acumulada igual ou imediatamente inferior a 5%, no ensaio de determinação granulométrica do agregado (NBR 7211/2000 – ABNT)

DOSAGEM – Proporção entre os compostos do concreto (cimento, areia, pedra

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística;

MÓDULO DE FINURA = É somatória das porcentagem acumulada das peneiras da série normal dividido por cem. (NBR 7211/2000 - ABNT)

NM – Norma da ABNT adotada pelo MERCOSUL.

PENEIRAS NORMAIS E PENEIRAS INTERMEDIÁRIAS – série de peneiras em milímetros (mm) que serão utilizadas nos ensaios (NBR 7211/2000 – ABNT = NM ISO 3310-1)

Série normal mm	75	37,5	19	9,5	4,75	2,36	1,18	0,6	0,3	0,15
série intermediária mm	63	50	31,	25	12,5	6,3	--	--	--	--

PROEMA- Programa Estadual de Meio Ambiente.

QUARTEAMENTO – processo de retirada de amostra de acordo com as normas da ABNT;

RCD – Resíduo de Construção e Demolição;

RRCC - Reciclagem de Resíduos da Construção Civil;

RSIE – Resíduos sólidos inertes e entulho.

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul;

UFSCar – Universidade Federal de São Carlos (São Paulo);

UMAH –Urbanismo Meio Ambiente e Habitação S|C Ltda.