

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ENGENHARIA
CURSO DE ENGENHARIA**

RUAN CARLOS WESSLER BROTTI

**CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E
DEMOLIÇÃO (RCD) VISANDO À FABRICAÇÃO DE PEÇAS DE
PAVIMENTAÇÃO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**PATO BRANCO
2014**

RUAN CARLOS WESSLER BROTTI

**CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO
(RCD) VISANDO À FABRICAÇÃO DE PEÇAS DE PAVIMENTO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito parcial
para a obtenção do título de Bacharel
em Engenharia Civil, da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná,
Campus Pato Branco.

Orientador: Prof. Msc. José M.
Etchalus

Co-Orientadora: Prof. Dr. Caroline A. da
Luz

PATO BRANCO
2014



TERMO DE APROVAÇÃO

CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO (RCD) VISANDO À FABRICAÇÃO DE PEÇAS DE PAVIMENTO

RUAN CARLOS WESSLER BROTTI

Ao 1 dia do mês de dezembro do ano de 2014, às 15h30min, na Sala J02 da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, este trabalho de conclusão de curso foi julgado e, após arguição pelos membros da Comissão Examinadora abaixo identificados, foi aprovado como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná– UTFPR, conforme Ata de Defesa Pública nº 36-TCC/2014.

Orientadora : Prof. Msc. JOSÉ MIGUEL ETCHALUS (DACOC / UTFPR-PB)

Co-orientadora: Prof^a. Dr^a. CAROLINE ANGUSLKI DA LUZ (DACOC / UTFPR-PB)

Membro 1 da Banca: Prof. Dr. GUSTAVO LACERDA DIAS (DACOC / UTFPR-PB)

Membro 2 da Banca: Prof. Dr. OSMAR JOÃO CONSOLI (DACOC / UTFPR-PB)

Às pessoas que tornaram esse sonho possível, meus pais e meu irmão, responsáveis por cada conquista, fiéis companheiros, que fazem a vida valer a pena. A eles que fazem da palavra família a razão da felicidade.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus e ao meu anjo da guarda que por muitas vezes eu soube pedir mais do que agradecer. Obrigado por me conduzirem no caminho da verdade e da honestidade, me dando sempre forças para superar os desafios encontrados ao longo desta fase da minha vida, garantindo a minha saúde para que a cada dia eu pudesse me levantar e lutar pelos meus objetivos.

Agradeço aos meus amados pais, Maria e Antonio e ao meu irmão Felipe, que sempre me apoiaram em todas as decisões da minha vida. E nos momentos mais difíceis sempre tiveram uma palavra de motivação, e mesmo quando tudo estava parecendo dar errado, me guiaram para eu ter serenidade para resolver quaisquer problemas.

Agradeço aos meus amigos André e Ricardo, que em muitas madrugadas estiveram junto comigo na universidade produzindo concreto, sempre acreditando em mim e no meu potencial.

Agradeço ao meu orientador Prof. Msc. José Miguel Etchalus e a minha co-orientanda Prof^a. Dra. Caroline Anguski da Luz que sempre estiveram à disposição para sanar minhas dúvidas e mostrar-me o caminho do conhecimento.

Agradeço a equipe Sae de BAJA, formada pelos acadêmicos da Engenharia Mecânica UTFPR – Campus Pato Branco, que se dispuseram a fabricação dos equipamentos necessários para o desenvolvimento do meu trabalho.

A todos os amigos nesse tempo conquistados, obrigado pelo reconhecimento e pela amizade.

“A vitória tem mais de uma centena de pais. A derrota, por outro lado, essa, é órfã. (Napoleão Bonaparte).

RESUMO

BROTTI, Ruan Carlos Wessler. Contribuição ao Estudo de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) Visando à Fabricação de Peças de Pavimento. 2014. 102 f. Trabalho de Conclusão de Curso em Bacharelado em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Pato Branco – PR.

Este trabalho apresenta um estudo sobre o comportamento à resistência de compressão dos corpos de prova produzidos com agregado miúdo natural e de britagem quando para as mesmas condições de moldagem, são produzidos corpos de prova aplicando diferentes porcentagens de agregado reciclado, agregado este oriundo da moagem de artefatos cimentícios. Apresenta conceitos dos resíduos gerados pela construção civil; a classificação dos resíduos sólidos; conceitos de reciclagem; aborda a valorização dos RCD em materiais a base cimento, a revisão também discorre sobre os impactos ambientais, analisa as diretrizes para gerenciamento de resíduos sólidos e as normas técnicas. Complementado por uma pesquisa qualitativa e quantitativa usada para avaliar qual porcentagem empregada de agregado reciclado tem-se o melhor e o pior comportamento à resistência a compressão tanto quando aplicado em corpos de prova produzidos com areia natural quanto os produzidos com areia de britagem. Traz como resultado que o maior consumo de cimento aplica-se na produção de peças com utilização de areia de britagem, porém mostraram-se com melhor comportamento em relação à resistência mecânica.

Palavras-chave: Resíduos Sólidos. Construção Civil. Agregado miúdo e reciclado. Corpos de prova.

ABSTRACT

BROTTI, Ruan Carlos Wessler. Contribution to the Study of Construction and Demolition Waste (RCD) Aiming for the Manufacture of parts Floor. 2014. 102 f. Trabalho de Conclusão de Curso em Bacharelado em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Pato Branco – PR.

This paper presents a study on the behavior of the compression strength of the specimens produced with small natural aggregate and crushing of sand when for the same molding conditions, are produced specimens applying different percentages of recycled aggregate, added to it grinding cement artifacts. Presents concepts of waste generated by civic construction; the classification of solid waste; concepts of recycling; present about the valuation of the RCD in materials that has a cement base, the review also discusses the environmental impacts, analyzes the guidelines for solid waste management and technical standards. Complemented by qualitative and quantitative research used to evaluate which percentage of recycled aggregate has been the best and worst performing for the compressive strength both when applied to specimens produced with natural sand as those produced with “areia de britagem”. Brings as results that the major cement consumption applies in the production of parts with the use of “areia de britagem”, but showed up with the best behavior in considering the mechanical resistance.

Keywords: Solid Waste. Civil construction. Aggregate and recycled. Specimens.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Quantidade de RCC coletados em 2009 e 2010.....	25
Figura 2 - Número de municípios por Região que exercem controle sobre o	26
Figura 3 - Estados da região Sul que coletam RCC	27
Figura 4 - Resíduos Sólidos Classe A.....	28
Figura 5 - Resíduos Sólidos Classe B.....	29
Figura 6 - Resíduos Sólidos Classe C.....	29
Figura 7 - Resíduos Sólidos Classe D.....	30
Figura 8 - Seção típica de pavimento intertravado	39
Figura 9 - Proporcionamento pedrisco-areia para obtenção do menor volume de vazios	42
Figura 10 - Faixa granulométrica recomendada para produção de pavimentos pré-moldados de concreto (COLUMBIA,1986)	43
Figura 11 - Curva granulométrica de referência (DOWSON,1981)	44
Figura 12 - Molde Metálico de 10x20 centímetros.....	46
Figura 13 - Produção da Pastilha de Nylon	47
Figura 14 - Produção da Pastilha de Nylon, dimensões em centímetros.	48
Figura 15 - Corpo de prova com dimensões em centímetros.....	49
Figura 16 - Produção do conjunto de compactação	50
Figura 17 - Corpo de prova com dimensões em centímetros.....	51
Figura 18 - Características do cimento CP-V ARI	53
Figura 19 - Limites de porcentagens massa retida acumulada em cada peneira para agregado	56
Figura 20 - Moldagem dos corpos de prova.....	59
Figura 21 - Capeamento dos corpos de prova	60
Figura 22 – Rompimento dos corpos de prova.....	60
Figura 23 – Jogo de peneiras.....	62
Figura 24 Conjunto para determinação da massa específica	66
Figura 25 – Procedimento para determinação da massa específica.....	67
Figura 26 – Aspecto visual	80
Figura 27 - Evolução na melhoria do aspecto visual	81
Figura 28 - Evolução na piora do aspecto visual.....	82

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 01 - Total de RCC coletados por região e no Brasil em 2010 e 2009 (mil t/ano).....	24
Gráfico 2 - Número de municípios da região Sul com serviço de manejo de resíduos de construção civil, por tipo de processamento dos RCC.....	26
Gráfico 3: Número de municípios por estados que adotam algum tipo de processamento dos RCC, para região Sul	27
Gráfico 4 - Limites de porcentagens de massa retida acumulada em cada peneira para agregado miúdo	55
Gráfico 5 - Corpo de prova com dimensões em centímetros	61
Gráfico 7 - Corpo de prova com dimensões em centímetros	62
Gráfico 8 - Corpo de prova com dimensões em centímetros.....	64
Gráfico 9 - curva de distribuição granulométrica	66
Gráfico 10 - Relação resistência x compressão para areia natural	71
Gráfico 11 - Relação resistência x compressão para areia de britagem	77
Gráfico 12 - Relação resistência x compressão para areia de britagem	79

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resistência a compressão com emprego do traço 2.....	57
Tabela 2 - Teor de umidade dos agregados	61
Tabela 3 - Módulo de finura e dimensão máxima característica	66
Tabela 4 - Massa específicas dos agregados	67
Tabela 5 - Massa unitária dos agregados	68
Tabela 6 - Traço piloto – utilização de 100% areia natural.....	68
Tabela 7 - Traço piloto – utilização de 100% areia de britagem.....	69
Tabela 8 - Moldagem dos corpos de prova com traços pilotos	70
Tabela 9 - Sub grupos.....	71
Tabela 10 - Resistência à compressão	71
Tabela 11 - Melhor resultado de resistência para agregado natural	72
Tabela 12 - Melhor resultado de resistência para agregado britagem	73
Tabela 13 - Condições para moldagem dos corpos de prova	75
Tabela 14 - Resistências obtidas com emprego de areia reciclada	76
Tabela 15 - Resistências obtidas com emprego de areia reciclada	78
Tabela 16 - Consumo de cimento	83
Tabela 17 - Consumo de cimento com areia natural e reciclado.....	83
Tabela 18 - Consumo de cimento com areia de britagem e reciclado.....	84

LISTA DE SIGLAS

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

NBR – Associação Brasileira de Normas Técnicas

RCC – Uso de Resíduos da Construção

RCD – Resíduos de Construção e Demolição

SISNAMA - Sistema Nacional do Meio Ambiente

UTFPR - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

LISTA DE APÊNDICES

APÊNDICE A – Procedimentos para a realização da composição granulométrica dos agregados.....	90
APÊNDICE B – Procedimentos para a determinação da massa específica dos agregados.....	92
APÊNDICE C – Procedimentos para a determinação da massa unitária dos agregados.....	94
APÊNDICE D – Traços obtidos com as porcentagens aplicadas de areia reciclada com areia natural e areia de britagem.....	96

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
1.1 DELIMITAÇÃO DO TEMA	19
1.2 PROBLEMAS E PREMISSAS	19
1.3 OBJETIVOS	20
1.3.1 Objetivo Geral.....	20
1.3.2 Objetivos Específicos	20
1.4 JUSTIFICATIVA	20
2 REVISÃO DE LITERATURA	22
2.1 RESÍDUOS GERADOS PELA CONSTRUÇÃO CIVIL	22
2.2 RESÍDUOS SÓLIDOS.....	22
2.2.1 Classificação dos resíduos sólidos.....	28
2.3 RECICLAGEM	30
2.3.1 Valorização dos RCD em materiais a base cimento.....	31
2.3.2 Benefícios da reciclagem	32
2.3.3 Dificuldades da Reciclagem.....	33
2.4 IMPACTOS AMBIENTAIS	33
2.5 DIRETRIZES PARA GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS.....	34
2.5.1 Resolução Conama 307	34
2.5.2 Normas Técnicas	36
2.5.3 Política Nacional do Meio Ambiente	37
2.6 CONCRETO SECO.....	37
2.7 PAVIMENTO INTERTRAVADO COM PEÇAS DE CONCRETO.....	38
2.7.1 Requisitos técnicos.....	39
2.7.2 Norma Brasileira	39
2.7.3 Definição e caracterização da matéria prima.....	40
2.7.4 Cimento	40
2.7.5 Água.....	41

2.8 FORMULAÇÃO	41
2.8.1 Método de dosagem proposto pela ABCP	42
3 METODOLOGIA.....	45
3.1 CARACTERIZAÇÃO DE PESQUISA	45
3.2 PRODUÇÃO DOS EQUIPAMENTOS	45
3.2.1 Molde metálico	45
3.2.2 Produção das pastilhas de nylon	46
3.2.4 Soquete metálico	49
3.3 DETERMINAÇÃO DAS DIMENSÕES DO CORPO DE PROVA.....	50
3.3.1 Determinação da quantidade de material por corpo de prova	51
3.4 CARACTERIZAÇÃO E ESCOLHA DOS MATERIAIS	53
3.4.1 Cimento	53
3.4.2. Aditivos	53
3.4.3 Água.....	54
3.4.4 Agregados.....	54
3.4.4.1 Agregado miúdo	55
3.4.4.2 Agregado Graúdo	55
3.5 DOSAGEM DO CONCRETO	56
3.6 PRODUÇÃO DO CONCRETO.....	57
3.7 MOLDAGEM E DESMOLDAGEM DOS CORPOS DE PROVA	57
3.8 ENSAIO DE RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO DO CONCRETO	59
4 ANÁLISES E RESULTADOS	61
4.1 DETERMINAÇÃO DA UMIDADE DOS AGREGADOS	61
4.2 CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS.....	61
4.2.1 Análise Granulométrica.....	61
4.2.2 Determinação da massa específica.....	66
4.2.3 Determinação da massa unitária dos agregados	67
4.3 PRIMEIRA FASE - PRODUÇÃO DE CORPOS DE PROVA COM UTILIZAÇÃO DE 100% DE AREIA NATURAL E 100% DE AREIA DE BRITAGEM.....	68
4.3.1 Determinação do traço empregado	68

4.3.2	Moldagem dos corpos de prova de 10 x 8,89	69
4.3.3	Obtenção das resistências a compressão dos corpos de prova 10 x 8,89 com areia natural e areia de britagem	71
4.4	SEGUNDA FASE – PRODUÇÃO DOS CORPOS DE PROVA COM UTILIZAÇÃO EM DIFERENTES PORCENTAGENS DE AGREGADO RECICLADO	74
4.4.1	Determinação do traço empregado	74
4.4.2	Moldagem dos corpos de prova	74
4.4.3	Obtenção das resistências à compressão dos corpos de prova 10 x 8,89 com utilização de areia de britagem junto a areia reciclada em suas porcentagens.....	76
4.4.4	Obtenção das resistências a compressão dos corpos de prova 10 x 8,89 com utilização de areia natural junto a areia reciclada em suas porcentagens.....	77
4.4.5	Influência do agregado diante o aspecto visual das peças	80
4.4.6	Relação do consumo de cimento para cada proporção de areia reciclada empregada na mistura do concreto	82
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	85
	REFERÊNCIAS.....	87
	ALBUQUERQUE, Flávia. 42% dos resíduos sólidos coletados no país vão para locais inadequados, indica estudo. 2014. Disponível em: http://memoria.ebc.com.br/agenciabrasil/noticia/2012-05-08/42-dos-residuos-solidos-coletados-no-pais-vao-para-locais-inadequados-indica-estudo	87
	APÊNDICES.....	90

1 INTRODUÇÃO

Durante muitos anos, as pessoas em geral produziram lixo sem ter noção e a menor preocupação de como ele seria destinado e de que forma seria disposto. A falsa ideia da abundância dos recursos naturais, renováveis e não renováveis fez com que estes fossem tratados como fontes inesgotáveis (ÂNGULO, 2000).

Com o advento da industrialização, com a diversificação do consumo de bens e serviços, e com o crescimento populacional, principalmente nos centros urbanos, houve um considerável aumento na industrialização de materiais. A partir de então, os resíduos se transformaram em um grave problema para toda a sociedade (JOHN, 2000).

Como citado por John (1997), o estudo da reutilização e da reciclagem de resíduos tornou-se prioritário quanto ao aspecto ambiental. Além disso, o aproveitamento dos resíduos pode apresentar diversos benefícios técnicos, econômicos, energéticos e, é claro, ambientais, como redução do volume de extração de matéria-prima, conservação de matéria-prima não renovável, redução do consumo de energia, menor emissão de poluentes, como o CO₂, e geração de recursos financeiros antes inexistentes.

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) através da Resolução Nº 307 de 05/07/02- DOU de 17/07/02, estabeleceu diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil, disciplinando as ações necessárias de forma a minimizar os impactos ambientais, tendo para esse fim definido as especificações de resíduos da construção civil.

O programa Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil criado em 2003 com o objetivo de facilitar o acesso de órgãos governamentais, das empresas públicas e privadas, organizações não governamentais e entidades educativas que muitas vezes estão desatualizadas para a gestão e gerenciamento dos resíduos sólidos gerados pela construção civil.

A Associação Brasileira de Empresas de Limpeza, ABRELPE (2014), destaca a preocupação com a crescente geração de resíduos, para se ter ideia, de 2011 para 2012 houve um aumento de 5,3% representando 35 milhões de toneladas, podendo

este dado ser ainda maior devido ao fato dos municípios coletarem apenas resíduos lançados em logradouros públicos.

O ramo da construção civil nos tempos atuais está em crescimento ascendente. Com tal crescimento, as empresas precisam buscar a otimização de seus processos construtivos tal como aperfeiçoar a utilização do uso de materiais reduzindo o desperdício.

Para a redução de desperdícios é preciso dar a importância necessária quanto às ideias do empreendimento, pois é nessa fase que se define os projetos, as especificações a serem empregadas, sistemas construtivos que levará a obra ter um grau de desperdícios de materiais elevado ou não.

A otimização do uso dos materiais se dá também na reciclagem destes, a aplicação do conceito de sustentabilidade e a íntima relação com o meio ambiente. Uma obra organizada no quesito limpeza está ligada fortemente ao fato das construtoras se encontrarem num cenário de grande concorrência e à preferência de certos clientes, que almejam o menor valor para execução da obra, tendo em vista que a reutilização de resíduos poderá ser um gatilho de redução do preço, levando a um maior número de clientes.

O uso do RCD (Resíduos Construção e Demolição) para fabricação de paver segue uma linha de racionalização do uso dos materiais e gerenciamento de resíduos sólidos, que é um instrumento atenuante de redução de desperdícios que consequentemente aumenta o lucro das empresas, agregando valores ambientais, socioeconômicos entre outros.

Verifica-se assim a importância do estudo para avaliar o comportamento do concreto quando aplicado agregado reciclado (areia oriunda da moagem de artefatos cimentícios) para a fabricação de paver, visto que, se houver ganho de resistência nas peças produzidas ou se a perda de resistência não for significativa mostra-se como uma boa solução para diminuição dos resíduos gerados pela construção civil.

Para o estudo presente será empregado uma metodologia específica desenvolvida por LIMA (2004) quando feita uma peça de paver em laboratório, e com emprego de porcentagens definidas de agregado reciclado avaliara o comportamento mecânico das peças.

1.1 DELIMITAÇÃO DO TEMA

Produção de pavers utilizando agregado reciclado oriundo de artefatos cimentícios com aplicação de porcentagens variadas para assim analisar o comportamento mecânico das peças quanto as peças produzidas com areia de britagem e areia natural.

1.2 PROBLEMAS E PREMISSAS

Devido à grande problemática sobre o gerenciamento de resíduos sólidos, instituiu-se a lei N 12.305, de agosto de 2010, expondo seus princípios, objetivos e instrumentos, sendo também descrita sobre as diretrizes relativas à gestão e ao gerenciamento de resíduos sólidos para fim de minimizar alguns problemas relacionados ao grande volume de resíduos de obras.

A disposição de resíduos sólidos da construção civil causa sérios problemas à gestão ambiental urbana, entre o esgotamento prematuro de áreas de disposição final de resíduos, a obstrução de elementos de drenagem urbana, a degradação de mananciais, a sujeira nas vias públicas, a proliferação de insetos e roedores, e conseqüentemente, prejuízos aos cofres públicos (RIBEIRO, 2004).

Segundo Jonh (2000) e Pinto (1999), existem inúmeros benefícios com a utilização de resíduos reciclados na Engenharia Civil, entre eles se destacam:

- Redução no consumo de recursos naturais não renováveis, quando substituídos por resíduos reciclados (JOHN, 2000).
- Redução de áreas necessárias para aterro, pela minimização de volume de resíduos pela reciclagem. Destaca-se aqui a necessidade da própria reciclagem dos resíduos de construção e demolição, que representam mais de 50% da massa dos resíduos sólidos urbanos (PINTO, 1999).

O presente trabalho traz o seguinte questionamento: qual a relação de materiais a serem usados para a determinação do traço padrão e como obter o material reciclado?

- Qual o comportamento mecânico das peças produzidas quando acrescentado agregado reciclado;
- Qual percentagem aplicada de agregado reciclado gera o melhor aspecto visual nas peças produzidas;
- Qual a relação de consumo de cimento para cada agregado utilizado.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

- Contribuir no estudo de dosagem de peças de pavimentação a partir de matérias-primas não convencionais, visando à redução dos impactos ambientais na CC.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Avaliar a influência do teor de agregado reciclado na resistência à compressão dos pavers.
- Comparar o consumo de cimento nos concretos produzidos com e sem agregados reciclados.
- Identificar alterações no aspecto visual das peças produzidas com agregado reciclado

1.4 JUSTIFICATIVA

De acordo com Pinto (1999) a melhor forma de minimizarmos o impacto ambiental e reduzirmos custos nas obras – como ainda não podemos eliminar todos os tipos de resíduos – é a reciclagem e a reutilização dos mesmos, já que são os provenientes da construção e demolição, que representam mais de 50% do volume de resíduos sólidos urbanos.

A necessidade de se aproveitar os resíduos da construção civil não é decorrente apenas da vontade de economizar, trata-se de uma atitude fundamental para a preservação do nosso meio ambiente (JÚNIOR, 2005).

Considerando a importância do tema, o presente trabalho busca obter a otimização dos resíduos sólidos através da reciclagem para a possibilidade de utilizar tais resíduos na fabricação de pavers. Porém os resíduos normalmente são descartados em locais impróprios, mesmo existindo normas de gerenciamento destes.

Para que o paver a ser desenvolvido possa ser utilizado em tráfegos leves (calçamentos de vias, ou passeios e em ruas internas de condomínio), deve alcançar uma resistência a compressão mínima como descrita pela norma NBR - 9780 de 35Mpa, que é a resistência dos pavers comerciais, produzidos com o agregado convencional, do tipo brita 0. No entanto o paver em estudo terá como agregado o resíduo oriundo de construção e demolição, em substituição ao agregado convencional acima citado, configurando a originalidade deste trabalho.

A viabilidade do estudo se dá pelo fato da matéria prima se encontrar em qualquer obra (RCD), a moagem desse material realizou-se em uma fábrica de artefatos cimentícios, empresa esta inserida a anos no mercado de fabricação de peças pré-moldadas, pavers e blocos estruturais. O material empregado como o cimento CP-V ARI é de fácil acesso a compra, e o aditivo incorporador de ar desejado é encontrado nas dependências da UTFP – Campus Pato Branco. Da mesma forma a determinação do traço a ser empregado na produção do paver, como todo estudo técnico e teórico terá o aporte da equipe do corpo docente do campus da universidade.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 RESÍDUOS GERADOS PELA CONSTRUÇÃO CIVIL

Os resíduos da construção civil podem ser gerados de várias formas, como em reparos, reformas, demolições de edificações e pavimentos, originando diretamente resíduos de blocos cerâmicos, tijolos, rochas, resinas, metais, argamassas e concretos em geral.

Durante muitos anos, a população produziu lixo sem ter noção e preocupação de como ele seria destinado e de que forma seria disposto. A ideia iludida da abundância dos recursos naturais, renováveis e não renováveis tratados como se fossem fontes inesgotáveis, uma população menor que a atual e a sociedade menos consumista tornavam a produção de resíduos um problema pouco significativo. No entanto, com o advento da industrialização, com a diversificação do consumo de bens e serviços, e com o crescimento populacional, principalmente nos centros urbanos, houve um considerável aumento na industrialização de materiais. A partir de então, os resíduos se transformam em um grave problema para toda sociedade (JOHN, 2000).

Alguns elementos que podem ser apontados como influenciadores de perdas: tecnologias aplicadas de forma incorreta, a não compatibilização de projetos, falta de padronização de serviços, estocagem inadequada de materiais entre outros.

Agopyan (2001) destaca em estudo realizado em 100 construtoras de norte a sul do país, que o desperdício de materiais é cerca de 7% a 8%. Porém estudos realizados por Pinto (1999) afirmavam que a perda na construção civil girava em torno de 20% a 30%.

2.2 RESÍDUOS SÓLIDOS

Segundo Bidone e Povinelli (1999), o termo resíduo sólido, que muitas vezes é sinônimo para lixo, deriva do latim *residuu* e significa sobra de substância, acrescido de sólido para diferenciar os resíduos líquidos ou gasosos, porém no conceito de Calderoni (1998), o termo resíduo varia conforme a época e o lugar, sendo que

também depende de fatores econômicos, jurídicos, ambientais, sociais e tecnológicos, pois o termo lixo na linguagem correta, é sinônimo de “resíduo”. Nos processos produtivos industriais geralmente utiliza-se “resíduo” como “rejeito” ou “refugo”.

De acordo com a ABNT, via a NBR 10.004/2004 define resíduo sólido como:

Resíduos nos estados sólidos e semissólidos que resultam de atividades 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, técnicas e economicamente, inviáveis em face à melhor tecnologia disponível (CASTILHOS JR, et al., 2006, p. 01).

Santos (2007) cita que a utilização dos resíduos de construção e demolição (RCD) com organização e procedimento deu-se a partir do fim da Segunda Guerra Mundial, perante a urgência de reconstruir as cidades destruídas. Tendo montanhas com cerca de 400 a 600 milhões de metros cúbicos de RCD viu-se a necessidade do desenvolvimento de novas tecnologias voltadas à reciclagem.

No mundo todo, a construção civil se destaca disparadamente como o maior consumidor de recursos naturais e também como o maior gerador de resíduos, segundo (RIBEIRO, 2004), e estes resíduos podem causar sérios problemas à gestão ambiental urbana, entre eles, a escassez pré-matura de áreas de disposição final de resíduos, a degradação de mananciais, a proliferação de insetos e roedores, entre outros.

A quantidade de resíduos sólidos gerados no Brasil em 2011 totalizou 61,9 milhões de toneladas, 1,8% a mais do que no ano anterior, de acordo dados do Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2011, pela Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (Abrelpe), durante a 11ª Conferência de Produção Mais Limpa e Mudanças Climáticas da Cidade de São Paulo. Do total coletado, 42% do lixo acabam em local inadequado (ALBUQUERQUE, 2012).

Segundo o diretor executivo da Abrelpe, Carlos Silva Filho, o crescimento de resíduos sólidos no período de 2010 para 2011 foi duas vezes maior do que o crescimento da população, que cresceu 0,9% no período. “Se continuarmos nessa curva ascendente de crescimento ano após ano e não conseguirmos, de alguma forma, adotar ações adequadas para conter essa geração, certamente, em médio

prazo, nossos sistemas de gestão de resíduos entrarão em colapso”. (ALBUQUERQUE, 2012).

Segundo o *Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2013*, 11ª edição do relatório anual da ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais, lançado em 04 de agosto de 2014, o País registra a presença de lixões em todos os Estados e cerca de 60% dos municípios brasileiros ainda encaminham seus resíduos para locais inadequados. De acordo com a nova edição do *Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil*, cuja pesquisa abrangeu 404 municípios, representando mais de 45% da população brasileira, foram geradas mais de 76 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos no ano passado, o que representa um aumento de 4,1% em relação a 2012, índice bastante superior àquele verificado em anos anteriores (ABRELPE, 2014).

Conforme os dados apresentados no *Panorama*, é justamente a destinação final o ponto mais deficiente no sistema de gestão de resíduos brasileiro. Apenas 58,3% dos resíduos sólidos urbanos coletados têm destinação final adequada. Esta situação se mantém praticamente inalterada em relação ao cenário de 2012. A outra parcela, que corresponde a 41,7% do que é coletado e totaliza 28,8 milhões de toneladas por ano, é depositada em lixões e aterros controlados, que pouco se diferenciam dos lixões, em termos de impacto ambiental (ABRELPE, 2014).

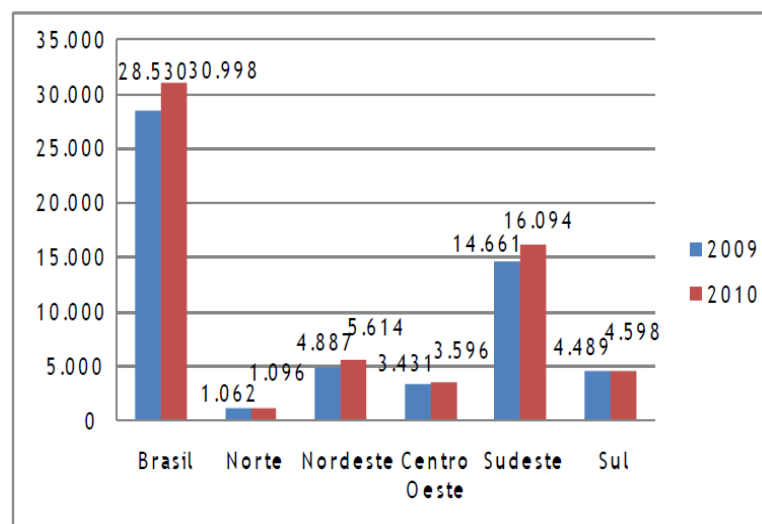


Gráfico 01 - Total de RCC coletados por região e no Brasil em 2010 e 2009 (mil t/ano)

Fonte: Adaptado de Fernandez, 2011.

Como gatilho para tentar solucionar alguns problemas gerados pela grande geração de resíduos sólidos da construção civil, o Conselho Nacional do Meio

Ambiente (CONAMA) criou a Resolução nº 307, publicada em 2002, que define diretrizes, procedimentos e critérios para a gestão dos resíduos no Brasil.

O incentivo a não geração de resíduos, através de uma boa política de gestão, quando possível a não geração destes e a escolha da reciclagem, também são oportunidades de transformar uma fonte enorme de despesas em uma fonte de faturamento ou pelo menos redução de gastos de deposição. (ALVES, QUELHAS, 2004).

Em termos de coleta, o estudo divulgado da ABRELPE (2011) apresenta a quantidade coletada de RCC por região, em 2009 e 2010, como pode ser vista na figura 1.

Região	2009	2010
	RCC coletado (t/dia)	RCC coletado (t/dia)
Norte	3.405	3.514
Nordeste	15.663	17.995
Centro Oeste	10.997	11.525
Sudeste	46.990	51.582
Sul	14.389	14.738

Figura 1 - Quantidade de RCC coletados em 2009 e 2010

Fonte: Adaptado de Fernandez, 2011.

O gráfico 2 apresenta informações sobre o número de municípios da região Sul com serviço de manejo de resíduos de construção civil, por tipo de processamento dos RCC.

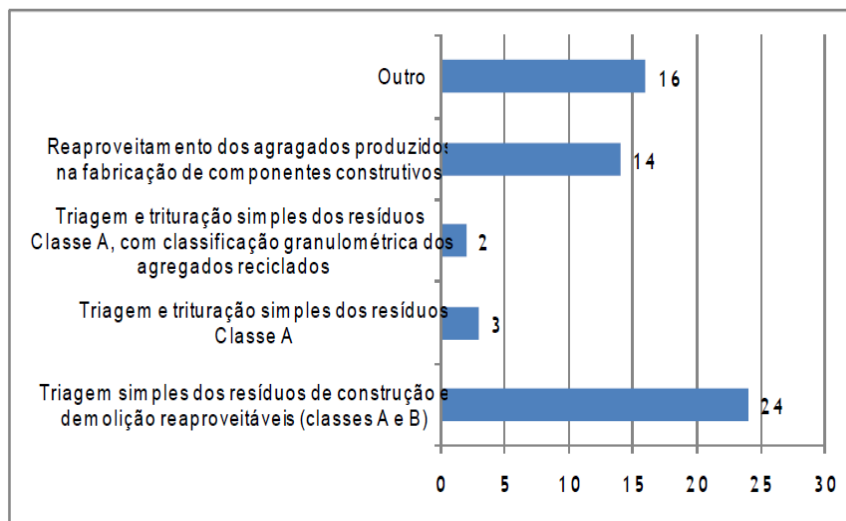


Gráfico 2 - Número de municípios da região Sul com serviço de manejo de resíduos de construção civil, por tipo de processamento dos RCC.

Fonte: Adaptado de IBGE 2010.

No Brasil, um total de 5.564 municípios, 2.937 (52,79%) exercem o controle sobre os serviços de terceiros para os resíduos especiais segundo pesquisa do (IBGE, 2010), conforme a figura 2.

Região	Total de municípios Considerados	Total de municípios que exerce controle sobre resíduos especiais	Total de municípios que exerce controle de RCC
Norte	449	166	117
Nordeste	1.793	715	526
Sudeste	1.668	1.029	607
Centro-Oeste	466	183	106
Sul	1.188	844	267

Figura 2 - Número de municípios por Região que exercem controle sobre o Manejo de resíduos de construção civil por serviços de terceiros

Fonte: Adaptado de IBGE 2010.

A figura 03 mostra dados em relação ao estado do Paraná e outras informações sobre a coleta dos mesmos.

Estado	Total de municípios Participantes da pesquisa	Quantidade coletada de RCC de origem pública (t/ano)	Quantidade coletada de RCC de origem privada (t/ano)	Número de município com Coleta executada pela Prefeitura	Número de município que cobra pelo serviço de coleta
Paraná	26	77.442	681.742,1	10	1
Santa Catarina	19	58.104,75	32.720,4	5	1
Rio Grande do Sul	34	886.016,6	328.874,8	17	5

Figura 3 - Estados da região Sul que coletam RCC
Fonte: Adaptada de Fernandez, 2011.

O gráfico abaixo mostra a relação dos estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul que adotam o processo dos RCC.

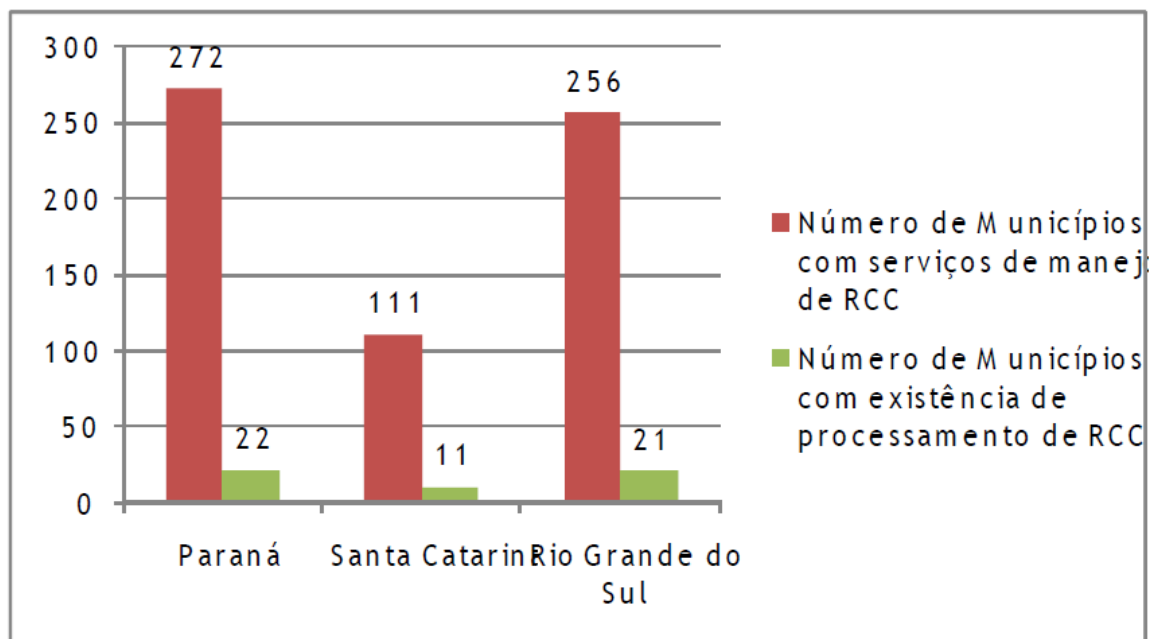


Gráfico 3 - Número de municípios que adotam processamento dos RCC.
Fonte: Adaptado de IBGE 2010.

2.2.1 Classificação dos resíduos sólidos

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) define pela NBR 10004 (NBR 10004/2004, p.3) que os resíduos são classificados em:

- Resíduos classe I – Perigosos;
- Resíduos classe II – Não perigosos;
- Resíduos classe II A – Não inertes;
- Resíduos classe II B – Inertes.

A Resolução 307 classifica os resíduos da construção civil em classes, determinadas:

I - 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 infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem.

b) de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto.

c) de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meios-fios etc.) produzido nos canteiros de obras.



Figura 4 - Resíduos Sólidos Classe A
Fonte: SINDUSCON (2007)

II - Classe B - resíduos recicláveis para outras destinações, tais como: plásticos, papel/papelão, metais, vidros, madeira e outros.



Figura 5 - Resíduos Sólidos Classe B
Fonte: SINCUSCON (2007)

III - Classe C - são os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam sua reciclagem/recuperação, tais como os produtos oriundos do gesso.



Figura 6 - Resíduos Sólidos Classe C
Fonte: SINCUSCON (2007)

IV - Classe D - são os resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como: tintas, solventes, óleos e outros ou aqueles contaminados ou prejudiciais à 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 nº 348/04).



Figura 7 - Resíduos Sólidos Classe D
Fonte: SINCUSCON (2007)

2.3 RECICLAGEM

Pode-se dizer que o Brasil não conta ainda com a cultura de reciclagem de resíduos sólidos como os países europeus.

O uso de resíduos da construção civil (RCC) de forma reciclada teve início no Brasil por Pinto (1986), empregando-os em produção de argamassas. Com o passar dos anos, Bodi (1997) aplicou a técnica em pavimentos, Levy (1997) em argamassas e Zordan (1997) em concretos.

No ano de 1991, instalou-se a primeira usina de reciclagem de RCC no Brasil, localizada na cidade de São Paulo que fora instalada pela prefeitura de São Paulo. Dois anos após, em 1993 na cidade de Londrina no Paraná também se instalou uma usina de RCC. Ao tema resíduo da construção civil até o momento não havia sido

dada uma grande importância, porém confirmou-se por Pinto (1999) a importância do assunto quando apresentou que mais de 50% da massa dos resíduos vem da construção civil.

Com o aumento da importância de se estudar e normatizar o assunto, no ano de 2002 foi homologada a resolução CONAMA 307, definindo que grandes geradores privados e públicos são obrigados a desenvolver e implantar um plano de gestão de RCC, tendo por caráter a sua reutilização (reciclagem) ou destinação ambiental adequada.

O Brasil conta hoje com a ABRACON, (Associação Brasileira para Reciclagem da Construção Civil e Demolição) que afirma haver boas oportunidades para empreendimentos de coleta e reciclagem no país (ABRACON, 2014).

Ângulo (2003), afirmava existir no Brasil, cerca de 12 instalações de reciclagem de RCD classe A públicas e algumas privadas com escala de produção pequena (menor que 100 toneladas de RCD processado/dia). Não há reciclagem massiva no Brasil. O produto principal desta reciclagem é o agregado reciclado, destinado para usos como taludes, concretos magros de fundações, atividades de pavimentação, entre outros.

2.3.1 Valorização dos RCD em materiais à base cimento

Existem hoje várias formas de se aproveitar o RCD e se devem considerar as características culturais e socioeconômicas de cada região ROCHA (2003).

A maior utilização do RCD é em bases e sub-bases de rodovias (JONH e AGOPYAN, 2000).

Um modelo foi desenvolvido na Irlanda para indicar se há viabilidade econômica da reciclagem do RCD. Este modelo mostrou que existe sim a viabilidade quanto ao custo de disposição excedentes do material, os custos de transporte e processamento. (DURAN; LENIHAN; O'REGAN, 2006).

Artefatos de cimento, como blocos de alvenaria, meio-fio, manilhas de concreto, elementos não estruturais como vergas e contra vergas, tampas para boca de lobo e pavers podem ser produzidos com RCD, sendo estes facilmente empregados à obra menos nobres. Para aplicação em obras com maior exigência ou

maiores solicitações estruturais, estudos cabíveis devem ser feitos e verificados se os elementos estão de acordo com as padronizações e indicações das normas.

Concretos com agregados reciclados selecionados têm sido estudados, e seu uso em proporções dosadas corretamente não afetam a durabilidade ou a resistência do concreto (LIMA, 2004).

2.3.2 Benefícios da reciclagem

Com o forte aquecimento na construção civil no Brasil, aumentou-se também a geração de resíduos e a discussão sobre sua destinação. Uma das soluções para tal problema se dá pela reciclagem de tais resíduos, tendo o objetivo de otimizar os processos construtivos, transformando as antes consideradas montanhas de entulhos em matéria prima a ser utilizada na própria construção civil (SCHULTZ, 2004).

Com a obrigatoriedade implantada pelo governo de se haver o tratamento dos resíduos sólidos da construção civil incorporou-se as vantagens da criação de novos empregos com a implantação das usinas de reciclagem, movimentando a economia e colocando o Brasil em destaque neste cenário.

Quando se trata de meio ambiente, a utilização da reciclagem dos resíduos sólidos da construção civil diminui diretamente a necessidade da extração de matéria prima virgem não renovável e se torna um ponto positivo para ampliação e aplicação desta técnica. Esse fato acaba por reduzir a degradação de jazidas das quais os agregados são extraídos (DOMSP, 2002).

De acordo com Pinto (1999), com a reciclagem gera-se uma redução significativa de áreas para aterro e tal redução se associa ao fato dos resíduos sólidos da construção civil caracterizarem mais de 50% da massa dos resíduos sólidos urbanos.

A busca por uma construção sustentável agrega a busca pelos selos verdes, buscando novas tecnologias para reduzir o desperdício de materiais e o descarte de resíduos.

Materiais podem ser gerados após o processo de reciclagem como o concreto reciclado, podendo ser aplicado em bases de pavimentos, produção de artefatos

cimentícios, argamassa de assentamento, areia reciclada, pedriscos reciclados, brita reciclada, bica corrida, rachão.

2.3.3 Dificuldades da Reciclagem

De acordo com Costa (2007), a reciclagem é limitada, estudos revelam que muitas vezes os resíduos apresentam em sua composição materiais perigosos ou potencialmente tóxicos para a saúde e ao ecossistema, e se comprovada que realmente haja a existência de tais impurezas, o custo para a beneficiação do material se elevará.

Um dos fatores mais relevantes para o não sucesso da implantação de usinas de reciclagem se deve ao aspecto cultural das empresas, visto que há pouca aplicação desta técnica então a resistência de aceitá-la se torna forte.

A mistura de materiais diferentes no mesmo produto, o custo mais elevado devido a má qualidade do material separado por contribuição de material orgânico ou mesmo presença de material inerte, como o gesso e madeira, e a falta de mercado para absorver esse material reciclado são pontos negativos para a prática da reciclagem.

2.4 IMPACTOS AMBIENTAIS

De acordo com o CONAMA (1986) a definição de Impacto Ambiental segundo a Resolução 01 é: qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente afetam a saúde, a segurança e o bem estar da população; as atividades sociais e econômicas; a biota; as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente e a qualidade dos recursos naturais.

Segundo Jonh (2000), para realizar a produção de concreto e argamassa suficiente abastecer a construção civil brasileira, foi estimado que cerca de 210 milhões de toneladas de agregados naturais sejam retirados por ano da natureza. Porém os impactos causados não são apenas dos agregados naturais, mas também o uso dos recursos naturais não renováveis de forma desenfreada, causando diversas outras poluições, como na água, ar e terra.

2.5 DIRETRIZES PARA GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS

Há um conjunto de leis e políticas públicas, além de normas técnicas fundamentais na gestão dos resíduos da construção civil, contribuindo para minimizar os impactos ambientais.

2.5.1 Resolução Conama 307

A Resolução CONAMA (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE) tem por função, definir, classificar e estabelecer os possíveis destinos dos resíduos da construção e demolição, além de atribuir responsabilidades tanto para poder público municipal quanto para os geradores de tais resíduos no que se refere a sua destinação.

Ao disciplinar os resíduos da construção civil, a Resolução CONAMA nº 307 leva em consideração as definições da Lei de Crimes Ambientais, de fevereiro de 1998, que prevê penalidades para a disposição final de resíduos em desacordo com a legislação. Essa resolução pleiteia ao poder público municipal a elaboração de leis, decretos, portarias e outros instrumentos legais como parte da construção da política pública que discipline a destinação dos resíduos da construção civil.

Os principais aspectos dessa resolução são os seguintes:

I. Definição e princípios

- Definição – Resíduos da construção e demolição são os provenientes da construção, demolição, reformas, reparos e da preparação e escavação de solo.

- Princípios – priorizar a não geração de resíduos e proibir a disposição final em locais inadequados, como aterros sanitários, em bota-foras, lotes vagos, corpos d'água, encostas e áreas protegidas por lei.

II. Classificação e destinação

- Classe A – alvenaria, concreto, argamassas e solos. Destinação: reutilização ou reciclagem com uso na forma de agregados, além da disposição final em aterros licenciados.

- Classe B – madeira, metal, plástico e papel. Destinação: reutilização, reciclagem ou armazenamento temporário.

- Classe C – produtos sem tecnologia disponível para recuperação (gesso, por exemplo). Destinação: conforme norma técnica específica.

- Classe D – resíduos perigosos (tintas, óleos, solventes etc.), conforme NBR 10004:2004 (Resíduos Sólidos – Classificação). Destinação: conforme norma técnica específica.

III. Responsabilidades

- Municípios - elaborar Plano Integrado de Gerenciamento, que incorpore: a) Programa Municipal de Gerenciamento (para geradores de pequenos volumes); b) Projetos de Gerenciamento em obra (para aprovação dos empreendimentos dos geradores de grandes volumes).

- Geradores – elaborar Projetos de Gerenciamento em obra (caracterizando os resíduos e indicando procedimentos para triagem, acondicionamento, transporte e destinação).

IV. Prazos

- Plano Integrado e Programa Municipal - devem estar elaborados até janeiro de 2004 e implementados até julho de 2004.

- Projetos de Gerenciamento – devem ser apresentados e implementados a partir de janeiro de 2005.

2.5.2 Normas Técnicas

As normas técnicas, integradas às políticas públicas, representam importante instrumento para a viabilização do exercício da responsabilidade para os agentes públicos e os geradores de resíduos.

Para viabilizar o manejo correto dos resíduos em áreas específicas, foram preparadas as seguintes normas técnicas:

- Resíduos da construção civil e resíduos volumosos - Áreas de transbordo e triagem. Diretrizes para projeto, implantação e operação – NBR 15112:2004 – possibilitam o recebimento dos resíduos para posterior triagem e valorização. Têm importante papel na logística da destinação dos resíduos e poderão, se licenciados para esta finalidade, processar resíduos para valorização e aproveitamento.

- Resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes – Aterros – Diretrizes para projeto, implantação e operação – NBR 15113:2004 – solução adequada para disposição dos resíduos classe A, de acordo com a Resolução CONAMA nº 307, considerando critérios para preservação dos materiais para uso futuro ou disposição adequada ao aproveitamento posterior da área.

- Resíduos sólidos da construção civil - Áreas de reciclagem - Diretrizes para projeto, implantação e operação – NBR 15114:2004 – possibilitam a transformação dos resíduos da construção classe A em agregados reciclados destinados à reinserção na atividade da construção.

O exercício das responsabilidades pelo conjunto de agentes envolvidos na geração, destinação, fiscalização e controle institucional sobre os geradores e transportadores de resíduos está relacionado à possibilidade da triagem e valorização dos resíduos que, por sua vez, será viável na medida em que haja especificação técnica para o uso de agregados reciclados pela atividade da construção. As normas técnicas que estabelecem as condições para o uso destes agregados são as seguintes:

- Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil - Execução de camadas de pavimentação – Procedimentos – NBR 15115:2004.

- Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos – NBR 15116:2004.

2.5.3 Política Nacional do Meio Ambiente

A política nacional do meio ambiente tem por princípios o equilíbrio ecológico, racionalização do uso do solo, do subsolo, da água e do ar, planejamento e fiscalização do uso de recurso ambiental, entre outros. Tem por objetivo a compatibilização do desenvolvimento econômico-social, com a preservação da qualidade do meio ambiente e do equilíbrio ecológico, como indicado no Artigo 4, inciso I, da Lei 6.938/81.

A Lei nº 6.938/81, denominada de Política Nacional do Meio Ambiente, é de grande relevância, uma vez que busca a preservação, melhora e recuperação do meio ambiente nacional, tendo instituído, para tanto, o Sistema Nacional do Meio Ambiente (Sisnama), que representa o conjunto de órgãos, entidades e normas dos entes federativos União, estados, distrito federal e municípios, responsáveis pelas gestões ambientais, assim como princípios e conceitos fundamentais para a proteção ambiental, estabelecendo ainda objetivos e instrumentos até então inexistentes na legislação pátria. O Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama) é seu órgão central.

2.6 CONCRETO SECO

Conforme Juvas (1993) o concreto seco possui baixo teor de umidade, onde a água tem como principal função participar das reações de hidratação do cimento. Como observado em concretos plásticos a pasta ocupa os espaços deixados pelos agregados reduzindo a quantidade de ar comendo o concreto, já nos concretos secos isto não ocorre, assim tendo uma presença significativa de ar (TANGO, 1994). Ao contrário dos concretos plásticos, que seguem a Lei de Abrams onde a resistência

do concreto é relacionada diretamente à relação água/cimento, no concreto seco isto não se aplica, pois dentro de um limite máximo quanto mais água for colocada, maior será a resistência alcançada. Isto ocorre devido ao fato de quanto mais água é adicionada melhora consideravelmente a trabalhabilidade da mistura, diminuindo o atrito interno entre os grãos e facilitando a compactação do mesmo (OLIVEIRA, 2004).

Husken (2007) em seus estudos caracteriza os concretos secos pelo alto consumo de cimento, na faixa de 350 à 400 Kg/m³ e baixo teor de partículas finas quando comparadas ao concreto plástico.

O concreto seco em seu estado fresco tem por principais características a trabalhabilidade e a coesão. A trabalhabilidade é definida como sendo o esforço mínimo para se manipular uma quantidade de material, uma quantidade de concreto tendo uma perda mínima de homogeneidade e depende do teor de umidade, do formato, da textura dos agregados e do empacotamento das partículas (DOWNSON, 1981).

A coesão para Mehta, Monteiro (2008) está relacionada a resistência, segregação e à exsudação. A coesão em concretos secos tende a ser baixa devido a quantidade de água empregada na mistura não ser suficiente para molhar totalmente as partículas de cimento. Para se melhorar a propriedade da coesão pode-se aumentar o teor de finos da mistura, com isso aumentando diretamente para que a peça não quebre ou segregue durante seu manuseio (DOWSON, 1981).

Já no estado endurecido as principais características a serem observadas são a resistência mecânica e durabilidade (DOWNSON, 1981).

2.7 PAVIMENTO INTERTRAVADO COM PEÇAS DE CONCRETO

Após a Segunda Guerra Mundial, com a necessidade de reconstruir a Europa, surgiram as peças pré-moldadas de concreto, material mais durável que a argila para o uso em pavimentação. O desenvolvimento das máquinas de vibro compressão permitiu a fabricação em série destas peças, ocorrendo assim sua difusão. No Brasil começaram a ser utilizadas as peças pré-fabricadas de concreto na década de 70 (HALLACK, 1998).

O pavimento intertravado define-se como pavimento flexível cuja estrutura é composta por uma camada de base (base ou sub-base), seguida por camada de

revestimento constituída por peças de concreto sobrepostas em uma camada de assentamento e cuja as juntas ente as peças são preenchidas por material de rejuntamento, definição está proposta pela ABNT NBR – 15953 (2011). A seção típica está demonstrada na Figura 8.



Figura 8 - Seção típica de pavimento intertravado
Fonte: Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP)

Conforme Hallack (1998), o uso de pavimento intertravado é recomendado em calçadas, parques, vias públicas entre outros. Tem como principais características a execução rápida e simples utilizando equipamentos de pequeno porte e obtendo uma rápida liberação para o tráfego.

2.7.1 Requisitos técnicos

Nos dias de hoje existem diversos requisitos técnicos e normas a serem seguidos como por exemplo a norma europeia, norma americana e canadense, africana, australiana e a norma brasileira. Para fim de estudos será apresentado apenas as indicações propostas pela norma brasileira.

2.7.2 Norma Brasileira

A norma brasileira NBR 9780:1987 define o método a ser empregado para determinar a resistência característica à compressão de pavers de concreto. Por norma a resistência mínima deve ser maior ou igual a 35 Mpa para solicitação de

veículos comerciais, ou de linha, e maior ou igual a 50 Mpa quando houver solicitação de veículos especiais ou solicitações capazes de produzir acentuados efeitos de abrasão.

Para realização deste ensaio a amostra deve ser de no mínimo 6 peças, para lotes de até 300m², e uma peça adicional para cada 50m² suplementar, até o máximo de 32 blocos.

A norma brasileira NBR 9781: 1987 fixa as condições exigíveis para a aceitação das peças dos *pavers* destinados à pavimentação de vias urbanas.

2.7.3 Definição e caracterização da matéria prima

Os materiais para fabricação de concreto seco para fabricação de peças de concreto para pavimentos intertravados (paver) são os mesmos do concreto convencional sendo o cimento, agregados, água, sendo visto que no trabalho proposto será empregado diferentes proporções de agregados reciclados a fim de estudos da resistência mecânica.

2.7.4 Cimento

Por hoje os processos produtivos estarem muito acelerados, se utiliza normalmente cimentos com alta resistência inicial, assim, na fabricação de peças pode empregar-se o cimento Portland de alta resistência inicial, CP V ARI (FERNANDES, 2008).

O emprego deste cimento foi escolhido pelo fato como apresenta pela Associação Brasileira de Cimento Portland, os valores aproximado de resistência à compressão de 26 MPa a 1 dia de idade e de 53 MPa aos 28 dias, que superam em muito os valores normativos de 14 MPa, 24 MPa e 34 MPa para 1, 3 e 7 dias, respectivamente, o CP V ARI é recomendado no preparo de concreto e argamassa para produção de artefatos de cimento em indústrias de médio e pequeno porte, como fábricas de blocos para alvenaria, blocos para pavimentação, tubos, lajes, meio-fio, mourões, postes, elementos arquitetônicos pré-moldados e pré-fabricados.

2.7.5 Água

De acordo com Neville (1997), a água tem função de participar da reação de hidratação do cimento, e sendo a água de amassamento tem importância fundamental na resistência do concreto seco. Importante ressaltar que a água não deve conter matéria orgânica e teores consideráveis de matéria inorgânica.

2.7.6 Agregados

Cerca de 60% a 80% do volume de concreto é composta pela estrutura granular dos agregados, com volume relevante tem-se grande importância no comportamento do concreto. Normalmente areia, pedregulho e pedra brita são oriundas de jazidas naturais (MEHTA, MONTEIRO, 2008).

2.8 FORMULAÇÃO

Em uma mistura de concreto a formulação vem trazer as melhores proporções no quesito economia de cada um dos materiais com a qualidade necessária. O maior desafio encontrado na formulação é conseguir manter a qualidade do concreto no estado endurecido e a trabalhabilidade e coesão no estado fresco mantendo a forma econômica do concreto (DOWSON, 1981). A forma mais usual de demonstrar as quantidades de materiais empregados é o traço do concreto, sendo que este traço pode estar nas unidades de massa ou volume, relativo a quantidade de cimento ou em valores absolutos como dito por Tango (1994).

Todas as metodologias que tem por principal objetivo alcançar o maior grau de compactação obtendo-se assim uma peça com menos porosidade e com isso ter ganho na durabilidade deste concreto e ganho também na resistência mecânica de tal. É essencial que a mistura tenha alcançado o máximo de densidade possível para que assim obtenha-se o máximo de compactação, sendo tal relação estar ligada intimamente com a correta seleção dos agregados. O tipo de equipamento utilizado para compactação e o teor de umidade também influenciam na compactação do concreto produzido (FERNANDES, 2008).

2.8.1 Método de dosagem proposto pela ABCP

Rodrigues (1995 a) desenvolveu um método que foi publicado pela ABCP, para peças de concreto para pavimento, que baseia-se na determinação das proporções ideais entre os agregados, que para tal apoia-se no ensaio de massa unitária compactada. Para realizar-se a dosagem o procedimento é separado em três etapas consecutivas, a saber:

- Determinação da melhor mistura pedrisco-areia:

Para início, se realiza várias misturas contendo pedrisco e areia em diferentes proporções (por exemplo, 20%, 40%, 60% e 80% de areia em massa). Para cada mistura realizada deve-se determinar a massa unitária compactada, para tal determinação deve-se fazer o enchimento de um recipiente cilíndrico, em três etapas iguais, socadas com 25 golpes cada, empregando-se uma haste metálica, de acordo com a NBR 7810 (ABNT, 1983)

Com os resultados encontrados nos referidos ensaios, pode-se assim determinar uma curva semelhante na Figura 6, determinando-se o ponto ótimo entre as relações, ponto este que apresentar o menor volume de vazios.

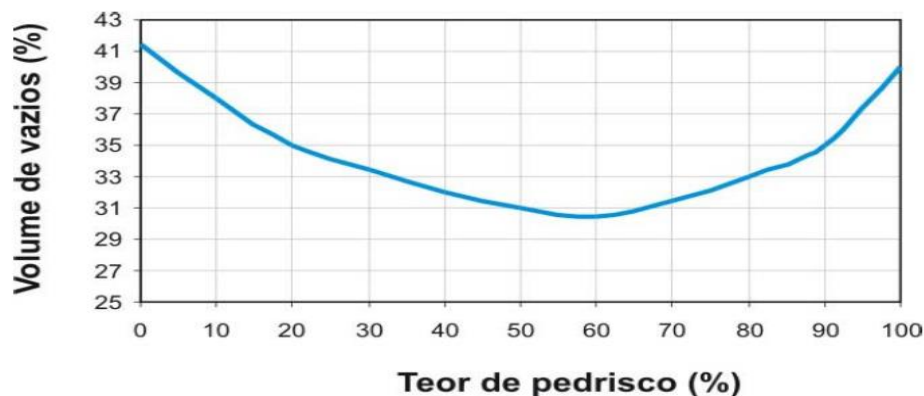


Figura 9 - Proporcionalamento pedrisco-areia para obtenção do menor volume de vazios
 Fonte: Adaptado de Lima (2004)

- Determinação da relação agregado/cimento (m):

Uma vez determinado a relação entre os agregados, procede-se com a determinação da relação entre as massas de agregado e cimento.

2.8.2 Método de dosagem do IPT- EPUSP adaptado (TANGO, 1994)

Método este, com base no consagrado método de dosagem do IPT/EPUSP, adaptado, entretanto, para blocos de concreto produzidos em máquinas vibroprensas. Este método resume-se em: a) ajuste dos agregados; b) estabelecimento da resistência média; c) estimativa dos teores agregado/cimento (m); d) determinação da proporção de argamassa e da umidade ótima; e) confecção das misturas experimentais e f) traçado e emprego do diagrama de dosagem.

2.8.3 Método de dosagem proposto pela Columbia (COLUMBIA, 1986)

Método de dosagem proposto pela Columbia que baseia-se praticamente no ajuste dos agregados graúdo e miúdo, de maneira que a mistura resultante enquadre-se em uma faixa pré-estabelecida.

Segundo o fabricante de máquinas vibroprensa COLUMBIA, para chegar-se a faixa ideal de mistura (figura 10) levou-se anos de experimentos em seus próprios equipamentos, obtendo-se bons resultados quanto à trabalhabilidade, textura superficial e resistência mecânica.

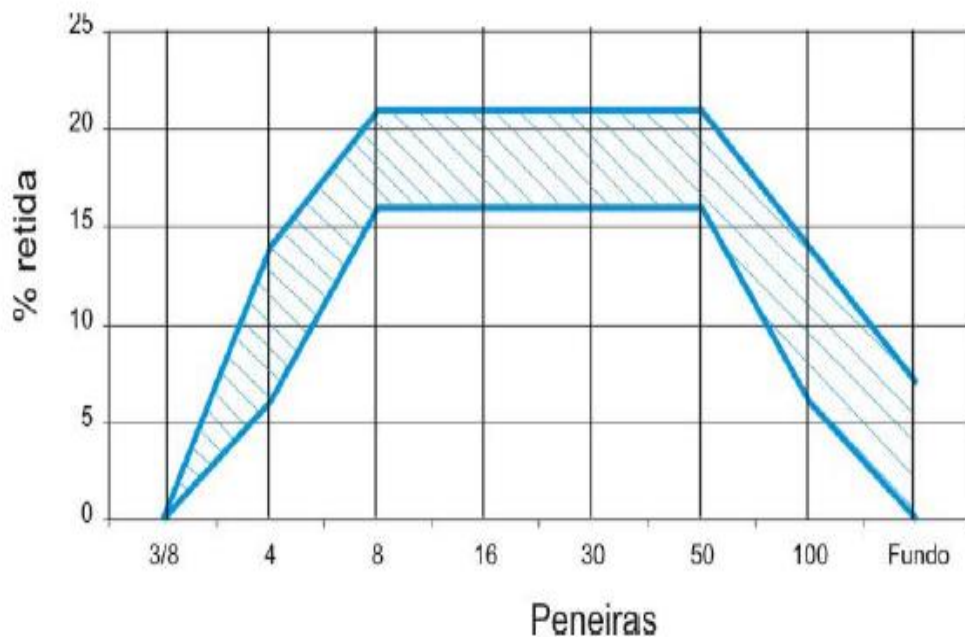


Figura 10 - Faixa granulométrica recomendada para produção de pavimentos pré-moldados de concreto (COLUMBIA,1986)
Fonte – Adaptado de Lima (2004)

2.8.4 Método de dosagem proposto por DOWSON (1981)

Método de dosagem proposto por Dowson (1981) em que o autor propõe uma metodologia de dosagem para PCP, semelhante à metodologia de Columbia, ajustando-se as proporções entre os agregados para que a mistura aproxime-se ao máximo da curva granulométrica de referência.

A mistura dos agregados deve-se aproximar ao máximo possível da curva de referência (figura x). Tal curva foi determinada, experimentalmente, com auxílio do equipamento “*void meter*”, com isto, resultando em uma dosagem com o menor volume de vazios, boa trabalhabilidade, coesão e excelente textura superficial.

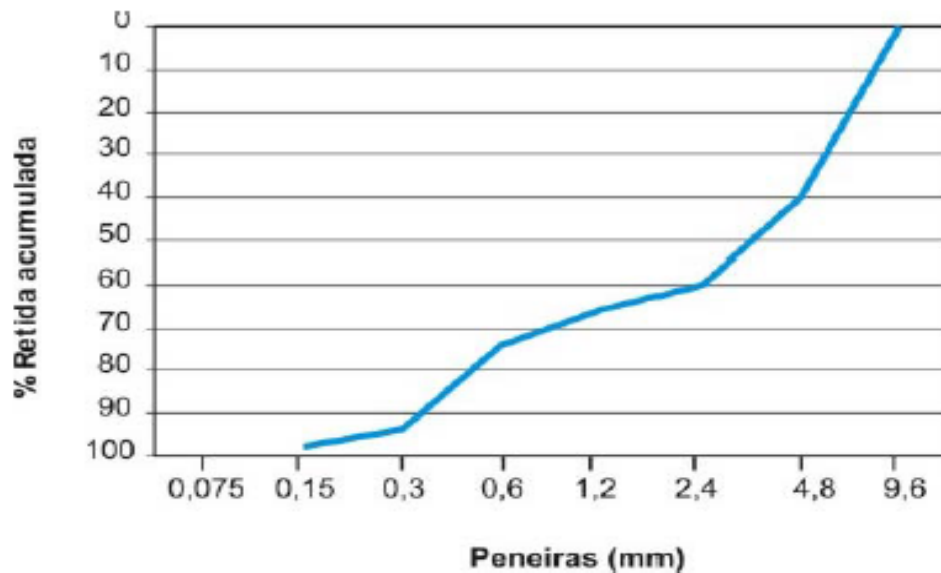


Figura 11 - Curva granulométrica de referência (DOWSON,1981)
Fonte – Adaptado Lima (2004)

3 METODOLOGIA

3.1 CARACTERIZAÇÃO DE PESQUISA

O presente trabalho tem por base estudos de ensaios de paver realizados no laboratório da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (Campus Pato Branco). Tais estudos foram desenvolvidos com embasamento na norma NBR – 9780 (1987), que determina os padrões de resistência à compressão e a NBR – 9781 (1987), que traz as especificações de exigência para aceitação da peça.

Por se tratar de uma pesquisa baseada na experimentação, onde se tem delineadores experimentais com grande controle e valor científico é válido o controle das variáveis junto à interpretação dos fenômenos ocorridos. Pode-se definir tal trabalho como uma pesquisa tanto qualitativa como quantitativa.

3.2 PRODUÇÃO DOS EQUIPAMENTOS

3.2.1 Molde metálico

Inicialmente pensou-se em produzir o molde metálico conforme proposto por Lima (2004), sendo suas dimensões composta por 9 centímetros de diâmetro e 16 centímetros de altura, porém, por ter-se encontrado diversas dificuldades de se achar tubos metálicos com diâmetro interno de 9 centímetros e para obter tais dimensões seria necessário realizar a produção dos moldes em um torno mecânico, devido a isso, optou-se por trabalhar com corpos de prova com diâmetro de 10cm e altura de 20 centímetros, (figura 12), sendo assim, um corpo de prova convencional em laboratórios, porém, as relações volumétricas do corpo de prova de concreto a serem produzidos deverá ser mantida.



Figura 12 - Molde Metálico de 10x20 centímetros
Fonte: Autoria própria (2014)

3.2.2 Produção das pastilhas de nylon

As pastilhas de nylon foram confeccionadas no laboratório de Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Pato Branco, pelos alunos estagiários dos laboratórios como mostra a Figura 13 e tem por função delimitar as dimensões dos corpos de prova de concreto quando produzidos. Suas dimensões foram determinadas a fim de manter-se a mesma relação d/h dos corpos de prova produzidos por Lima (2004). Os corpos de prova produzidos por Lima (2004) tinham dimensões de 9 centímetros de diâmetro e 8 centímetros de altura, assim sendo sua relação é de:

(1)

$$\frac{d}{h} = x$$

Onde d é o diâmetro do corpo de prova e h é sua altura, sendo:

$$\frac{9}{8} = 1,125 \text{ cm}$$



Figura 13 - Produção da Pastilha de Nylon
Fonte: Autoria própria (2014)

Para o trabalho proposto, como a dimensão do diâmetro é fixa de 10 centímetros, trabalhou-se as alturas das pastilhas para ter-se as mesmas relações propostas por Lima (2004), assim sendo:

$$\frac{d}{h} = x$$

$$\frac{10}{h} = 1,125 \text{ cm}$$

$h = 8,89$ centímetros

Esta altura encontrada é altura do corpo de prova de concreto a ser feito, visto que o molde metálico tem uma altura fixa de 20 centímetros, fez as seguintes considerações para determinação da espessura de cada pastilha.

(2)

$$20 - 8,89 = 11,11 \text{ cm}$$

Como deve-se ter duas pastilhas de nylon, uma para cada face do corpo de prova e ainda sendo que uma delas deve ser 0,5 centímetro menor que a outra, seguiu-se as considerações em:

(3)

$$\frac{11,11}{2} = 5,55 \text{ cm}$$

$5,55 + 0,25 = 5,8$ centímetros, sendo está a espessura da pastilha superior (figura 14)

$5,55 - 0,25 = 5,3$ centímetros, sendo está a espessura da pastilha inferior (figura 14)

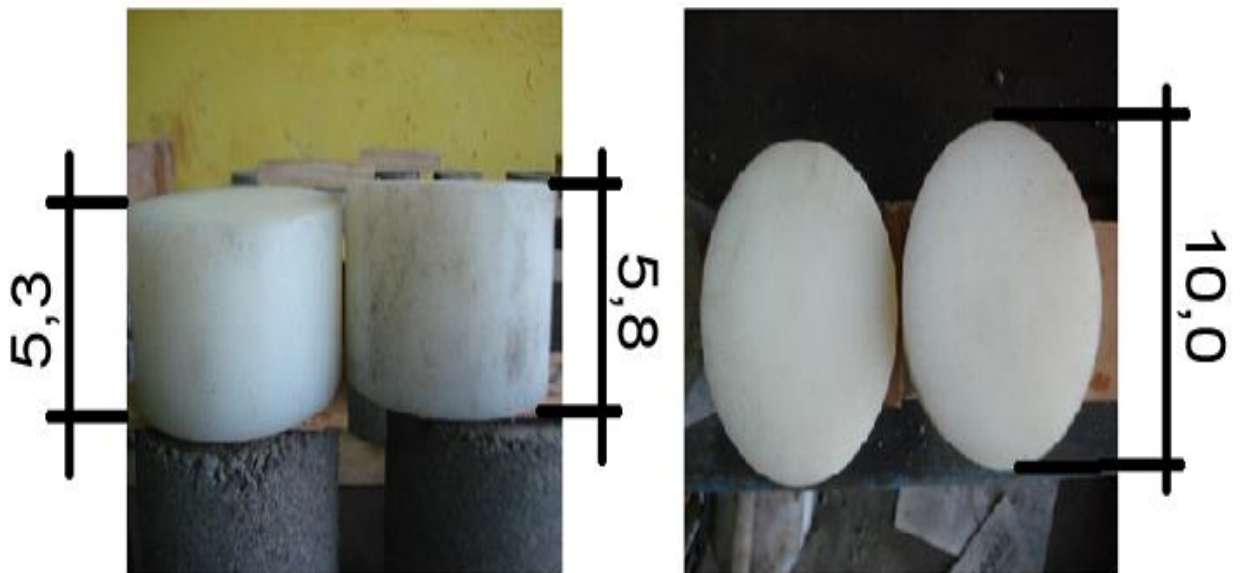


Figura 14 - Produção da Pastilha de Nylon, dimensões em centímetros.
Fonte: Autoria própria (2014)

Assim, confirmando as dimensões em,

(4)

$$5,8 + 5,3 + 8,89 = 20 \text{ cm}$$

Mantendo-se a relação $d/h = 1,125$;

Relação $d/h = 10 / 8,89 = 1,125$

3.2.4 Soquete metálico

O soquete é um conjunto de peças composto por uma massa deslizante de 5,8 Kg, uma haste que tenha tamanho suficiente a máxima queda útil proposta que é de 53 centímetros compondo-a por um limitador de altura a fim de evitar falhas humanas, e um corpo de penetração de 4 centímetros como proposto por Lima (2004).

Confeccionou-se a massa deslizante em um torno com emprego de peças maciças para que atingisse o peso desejado. Devido ao fato do torno não ter uma balança de precisão, peças maciças foram colocadas com o peso aproximado de 5,8Kg, e quando pronta, pesou-se novamente a massa produzida na universidade e assim retirou-se o excesso de massa com a máquina policorte deixando-a com os exatos 5,8 Kg, tal processo pode ser observado na figura 15.



Figura 15 - Corpo de prova com dimensões em centímetros
Fonte: Autoria própria (2014)

- Corte do aço com maçarico para definir as dimensões das peças
- Soldagem de peças maciças para que atingisse a massa de aproximadamente 5,8 quilogramas.
- Corte do excesso da massa, obtendo-se exatos 5,8 quilogramas;
- Massa deslizante pronta.

O corpo de penetração de quatro centímetros, é um carretel metálico, que foi confeccionado na própria universidade com a ajuda dos estagiários do laboratório de Engenharia Mecânica, pois, foi necessária a utilização de um torno mecânico e solda

para tal. Confeccionou-se uma peça auxiliar para que houvesse o encaixe da haste com o corpo de penetração, tal peça foi desenvolvida pois o corpo de penetração auxiliava na desmoldagem dos corpos de prova assim sendo a necessidade de desmontagem haste/corpo de penetração. Dessa forma, o processo e o produto final pode ser notado na (figura 16).



Figura 16 - Produção do conjunto de compactação
Fonte: Autoria própria (2014)

Sendo:

- a. Confeção da peça auxiliar;
- b. Peça auxiliar confeccionada e soldada na haste;
- c. Haste com delimitador de altura e posicionada a massa de 5,8 quilogramas;
- d. Corpo de penetração;
- e. Limitador de altura em 53 centímetros.

Com todas as peças prontas, o conjunto foi montado. Este conjunto é formado pelo corpo de penetração, peça auxiliar, haste, massa deslizante e limitador de altura.

3.3 DETERMINAÇÃO DAS DIMENSÕES DO CORPO DE PROVA

Para chegar-se nas dimensões do corpo de prova desejado, dimensões esta de 10 centímetros de diâmetro e 8,89 centímetros de altura, buscou-se manter a

relação d/h proposto por Lima (2004) de 1,125 centímetros. Utilizou-se para aferição de tal relação, pastilhas de náilon assim conseguindo-se trabalhar com as dimensões, definindo-se a relação desejada como discorrida em 3.2.2.

O corpo de prova definiu-se com dimensões de 8,89 centímetros de altura, e 10 centímetros de diâmetro (Figura 17) utilizando-se pastilhas de 5,8 centímetros na face superior do molde e 5,3 centímetros na face inferior do molde metálico e procedendo-se uma compactação de 0,5 centímetros com a utilização do soquete metálico, processo este realizados confirma-se a altura do corpo de prova desejado.

Tais dimensões foram empregadas para todos os corpos de provas produzidos, tanto com a utilização de agregado natural e moagem quanto os com a utilização de agregado reciclado.

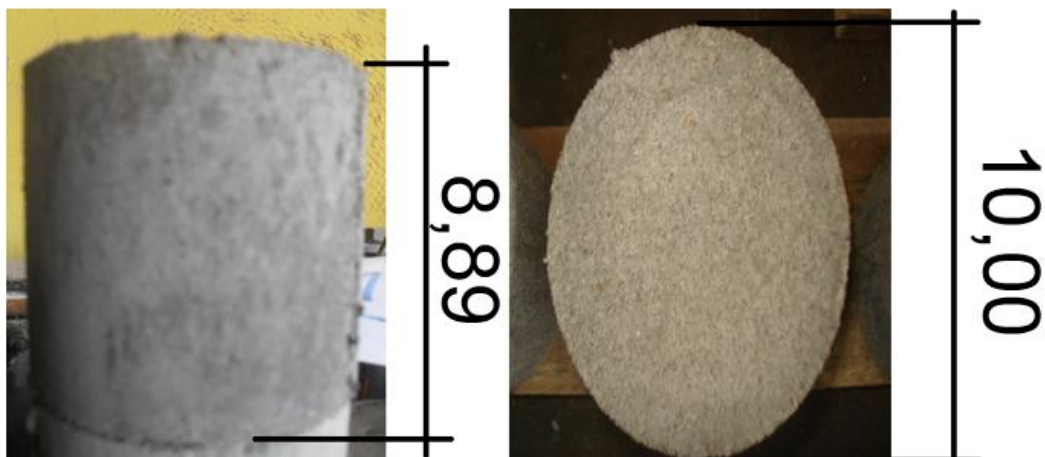


Figura 17 - Corpo de prova com dimensões em centímetros
Fonte: Autoria própria (2014)

3.3.1 Determinação da quantidade de material por corpo de prova

Para determinar-se a quantidade de material a ser empregado por corpo de prova adotou-se a estratégia de fixar-se uma massa específica desejada, visto que, como o corpo de prova não seria preenchido de material ao seu volume total pois seria aplicado as pastilhas de náilon para realização da primeira compactação, sem ter um parâmetro a se seguir o método ficaria menos eficiente.

A estratégia adotada de massa específica foi fixada em 2300 kg/m³ e 2500 Kg/m³. Tentou-se aplicar uma massa específica de 2600Kg/m³ porém não foi possível

realizar a compactação do concreto para moldar o corpo de prova, haja que a massa específica influencia diretamente na compactação do concreto com isto podendo acarretar em variações de resistência a compressão.

Como é conhecida as dimensões do corpo de prova, sendo, altura de 8,89 centímetros, e diâmetro de 10 centímetros, determina-se a massa a ser empregada da seguinte forma:

(5)

$$\partial = \frac{m}{v}$$

∂ = densidade desejada a ser produzido o concreto, estabelecido em (2300 Kg/m³ e 2500 Kg/m³)

v = volume do corpo de prova, sendo a área da base (($\pi * r^2$)*h)

m = massa de concreto a ser determinada.

Assim ficando para uma massa específica de 2300 Kg/m³:

$$m = \partial * v$$

$$m = 1605,40 \text{ gramas}$$

E para uma massa específica de 2500 Kg/m³:

$$m = \partial * v$$

$$m = 1745,00 \text{ gramas}$$

3.4 CARACTERIZAÇÃO E ESCOLHA DOS MATERIAIS

3.4.1 Cimento

O cimento empregado no trabalho foi o CPV ARI, cimento este muito comum na fabricação de artefatos cimentícios comprado na cidade de Pato Branco - Paraná. A caracterização deste material foi fornecida pelo fabricante encontrada na Figura 18.

	Item de controle	Unid.	Média	Desvio	Mínimo	Máximo
Ensaio físicos	Material Retido #200 (mesh)	%	0,10	0,03	0,00	0,20
	Material Retido #325 (mesh)	%	1,10	0,22	0,50	1,80
	Blaine	cm ² /g	5109	378	3250	5340
	Água de Consistência	%	31,40	0,24	31,00	31,90
	Início de Pega	Horas	3:51	0:22	3:20	5:10
	Fim de Pega	Horas	4:58	0:27	3:40	6:20
	Expansibilidade a Quente	mm	0,21	0,28	0,00	1,00
	Resistência R1	MPa	26,36	1,00	24,60	28,00
	Resistência R3	MPa	34,81	0,73	32,70	35,80
	Resistência R7	MPa	39,45	1,01	37,20	40,90
Resistência R28	MPa	50,34	1,45	47,70	52,40	
Ensaio químicos	Perda ao Fogo	%	3,18	0,21	2,69	3,50
	SiO ₂	%	23,79	0,30	23,13	24,34
	Al ₂ O ₃	%	7,44	0,13	7,08	7,73
	Fe ₂ O ₃	%	3,15	0,12	2,92	3,36
	CaO	%	51,08	0,30	50,48	51,77
	MgO	%	5,38	0,05	5,30	5,47
	K ₂ O	%	1,19	0,02	1,15	1,21
	Na ₂ O	%	0,17	0,01	0,15	0,18
	SO ₃	%	3,62	0,08	3,47	3,77
	Resíduo Insolúvel	%	13,08	0,47	11,80	14,25
CO ₂	%	2,19	0,17	1,94	2,49	

Massa específica do cimento = 2,97 kg/dm³

Figura 18 - Características do cimento CP-V ARI
Fonte: Adaptado de Lima (2004)

3.4.2. Aditivos

O aditivo incorporador de ar utilizado no presente trabalho foi o MICRO AIR EC. Aditivo este sendo líquido, livre de cloretos, para concreto e argamassas que introduz

micro bolhas de ar, que homogeneamente distribuídas impedem a penetração profunda de água, tornando o concreto menos permeável, sendo este mais resistente a ação de agentes agressivos. Sua dosagem de aplicação é recomendada de 0,05% a 1,0% sobre a massa do cimento empregado, para o presente trabalho optou-se por utilizar 0,35% na dosagem devido que Lima (2004), utilizou da mesma porcentagem.

3.4.3 Água

A água utilizada na mistura do concreto seco foi proveniente do canteiro de obras da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Pato Branco, fornecida pela empresa de abastecimento da cidade.

A quantidade de água colocada na mistura do concreto foi determinada a partir de estudos realizados por Lima (2004) e averiguada qual proporção a ser empregada o concreto obtiveram-se bons resultados em relação a resistência a compressão.

3.4.4 Agregados

Para o presente trabalho, foram empregados na produção do concreto areia proveniente de rio (areia natural), areia de britagem (areia artificial), areia oriunda da moagem de artefatos cimentícios (areia reciclada) e brita zero basáltica.

A coleta das amostras de agregados foi: areia natural, areia de britagem e brita zero, realizadas no pátio da universidade (UTFPR- Campus Pato Branco) e a areia reciclada foi coletada em uma fábrica de peças cimentícias da cidade de Pato Branco. A coleta consistiu na divisão de três amostras parciais, obtidas da base, meio e topo da pilha de matéria, após a retirada da camada superficial, segundo descrito pela NBR NM 26 (ABNT, 2009). Na sequência tais amostras foram reduzidas para ensaio como determinado pela NBR NM 27 (ABNT, 2001) para a caracterização dos materiais.

Para os ensaios em laboratório foram utilizados todos os materiais devidamente secos.

Para os agregados descritos procedeu-se com os ensaios de análise granulométrica, descrito no Apêndice A, determinação de massa específica, conforme Apêndice B, de massa unitária, segundo Apêndice C.

3.4.4.1 Agregado miúdo

Como agregado miúdo foram empregadas a areia natural, areia de britagem como a areia reciclada. Todas as areias utilizadas passaram por processo de caracterização a fim de se conhecer as propriedades dos materiais e se estabelecer a correta proporção de cada agregado na composição ideal.

É comum a mistura entre areias com módulo de finura diferentes para conferir melhor desempenho ao concreto. No caso do estudo em questão a mistura de agregados miúdos foi areia natural e areia de britagem com diferentes proporções de agregados reciclados não tinha por objetivo de obter-se o melhor desempenho do concreto e sim averiguar qual sua influência.

A composição do agregado miúdo final deve se enquadrar nos limites de distribuição granulométrica estabelecidos na faixa apresentada pela norma NBR 7211: 2009, conforme o Gráfico 4.

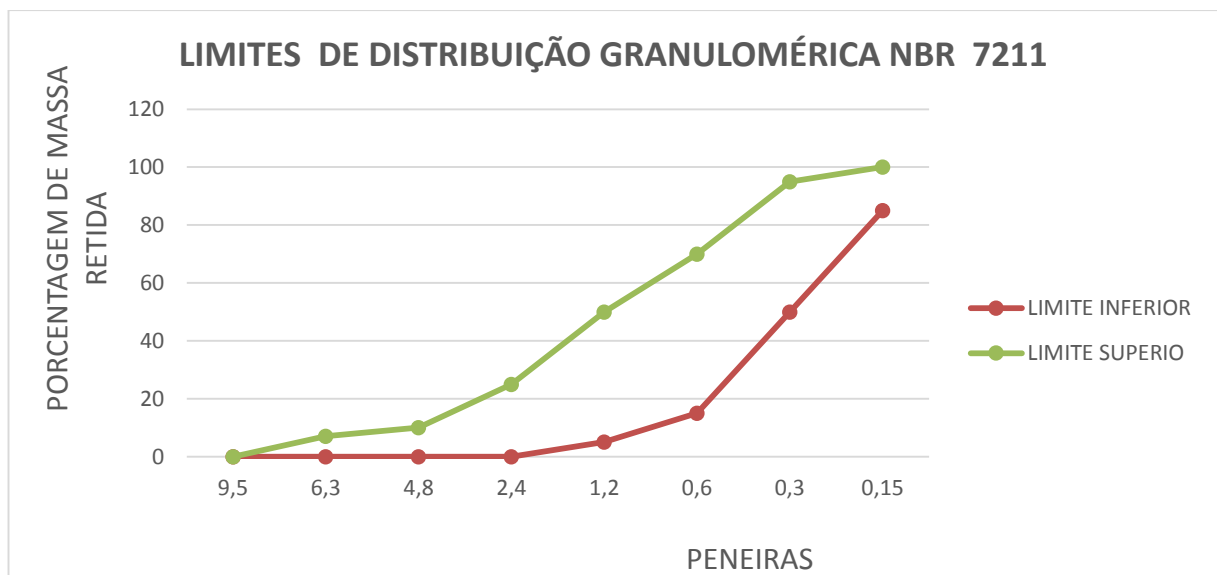


Gráfico 4 - Limites de porcentagens de massa retida acumulada em cada peneira para agregado miúdo
Fonte: Autoria própria (2014)

3.4.4.2 Agregado Graúdo

O agregado graúdo utilizado foi brita zero de origem basáltica que apresenta dimensão mínima característica de 4,5 mm, e dimensão máxima característica de 9,5

mm. Para ser determinada sua classificação como brita zero, seus limites de porcentagem de massa retida acumulada por peneira devem estar de acordo com os dados contidos na Figura 19.

GRADUAÇÃO	Porcentagem retida acumulada, em peso, nas peneiras de abertura nominal, em mm, de												
	152	76	64	50	38	32	25	19	12.5	9.5	6.3	4.8	2.4
0	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0-10	-	80-100	95-100
1	-	-	-	-	-	-	0	0-10	-	80-100	92-100	95-100	-
2	-	-	-	-	-	0	0-25	75-100	90-100	95-100	-	-	-
3	-	-	-	0	0-30	75-100	87-100	95-100	-	-	-	-	-
4	-	0	0-30	75-100	90-100	95-100	-	-	-	-	-	-	-
5 (A)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Figura 19 - Limites de porcentagens massa retida acumulada em cada peneira para agregado gráudo.

Fonte: Adaptado NBR – 7211 (2005).

3.5 DOSAGEM DO CONCRETO

Para realizar-se a dosagem do concreto iniciou-se com a determinação estabelecida por uma máquina de vibro-prensa sendo a relação volumétrica cimento/materiais secos de 1:6,42.

No estudo proposto por Lima (2004) a produção de concreto com utilização de 80% da massa sendo areia e 20% da massa sendo brita apresentou boas características em relação a resistência a compressão das peças, como pode ser observado na Tabela 1:

Tabela 1 - Resistência a compressão com emprego do traço 2.

a/c	Traço 2	
	Energia (J)	Resistência média (Mpa)
0,4	450	39,93
0,43	340	41,88
0,46	297	44,36
0,5	207	45,17
0,53	193	43,51

Fonte: Adaptado de Lima (2004)

Com a análise dos resultados obtido por Lima (2004), adotou-se como escolha, trabalhar com corpos de prova empregando-se relação água cimento (a/c) de 0,46 e 0,50 para realização deste trabalho.

3.6 PRODUÇÃO DO CONCRETO

Os concretos foram produzidos em um misturador com capacidade de 60 litros na localidade da Universidade Tecnológica Federal do Paraná- Campus Pato Branco, com a determinação realizada corretamente de todos os materiais, decorrendo da seguinte sequência:

- mistura a seco de todos os materiais (cimento + agregado) por 1 minuto e 30 segundos
- parada para adição da água e aditivo
- mistura por mais 1 minuto e 30 segundos

Procedimento este realizado para produção de todos os corpos de prova, não importando a relação a/c utilizada, e qual a natureza do agregado empregado.

3.7 MOLDAGEM E DESMOLDAGEM DOS CORPOS DE PROVA

Para a moldagem dos corpos de prova, previamente, determina-se a quantidade de material para que se atinja a porcentagem de volume de sólidos, ou a massa específica desejada. A moldagem se inicia com o posicionamento da pastilha

de náilon de 5,3 centímetros na parte inferior do molde metálico e o acoplamento (molde + pastilha de náilon de 5,3 centímetros) na base de apoio, despejando-se, posteriormente, dentro do molde, a quantidade de material (concreto) pré-determinada (figura 20a). Após a perfeita fixação do molde na base de apoio, encaixa-se a pastilha de 5,8 centímetros na face superior do mesmo Figura 20b) e, com auxílio de uma marreta, realiza-se a compactação manual do concreto até que a face superior da pastilha de náilon fique rente, alinhada, com a face superior do molde metálico (Figura 20c). Sendo que o molde possui altura de 20,0 centímetros, o corpo de prova apresenta nesta fase uma altura de 9,39 centímetros, assim, sobrando 0,5 centímetro para atingir a altura desejada do corpo de prova que é 8,89 centímetros.

Para que se tenha início a segunda fase de moldagem do corpo de prova, inverte-se o molde (giro de 180° - isto sendo, fase superior do molde tornando-se face inferior e face inferior do molde tornando-se face superior), retira-se a pastilha de 5,3 centímetros (Figura 20d) e acopla-se a ponta do soquete no topo do molde (Figura 20e). Com o soquete posicionado inicia-se a compactação dos 0,5 centímetros aplicando-se uma energia de golpe constante. Com a compactação dos 0,5 cm realizado, o corpo de prova apresentará as dimensões desejadas, sendo de 8,89 centímetros de altura e 10 centímetros de diâmetro, assim encerrado a fase de compactação, obtendo-se também a energia de compactação necessária para tal, executando-se então a desmoldagem do corpo de prova.

Para realizar-se a desmoldagem do corpo de prova inicialmente foi um desafio, pois, por se tratar de um concreto seco, quando o molde metálico era aberto e sacado para cima, muitas vezes as bordas quebravam, gerando defeitos nos mesmos. A solução adotada foi de utilizar o corpo de penetração, como contrapeso apoiando-se na face superior do corpo de prova e assim podendo retirar o molde metálico sem prejudicar o corpo de prova como pode ser observado na (Figura 20f.).

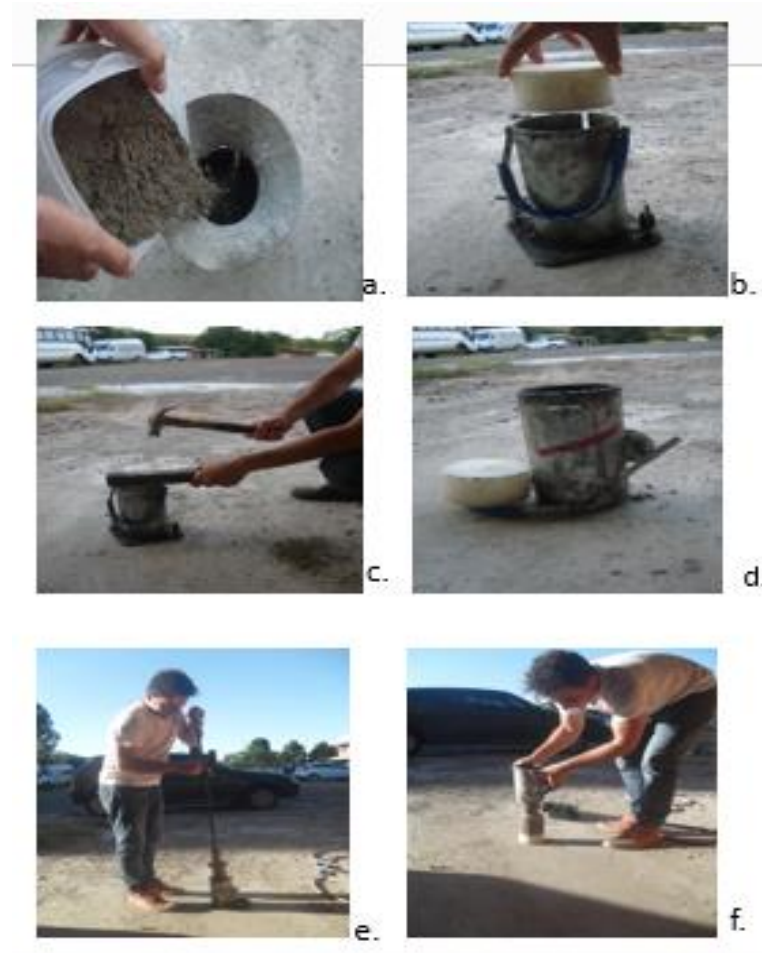


Figura 20 - Moldagem dos corpos de prova
Fonte: Autoria própria (2014)

3.8 ENSAIO DE RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO DO CONCRETO

Após a produção dos corpos de prova, os mesmos ficaram em temperatura ambiente, como o rompimento das peças seria após 7 dias da sua produção, a cura imersa não foi realizada para evitar a perda de resistência inicial das mesmas sendo está feita ao ar livre.

Para o procedimento realizou-se o capeamento das faces dos corpos de prova para obter-se uma melhor regularização da superfície conforme a Figura 21.



Figura 21 - Capeamento dos corpos de prova
Fonte: Autoria própria (2014)

Após realizado o capeamento os corpos de prova foram rompidos na prensa Emic (Figura 22), equipamento este com alta precisão nos resultados, gerando-se um laudo computacional com as respectivas resistências de cada peça.



Figura 22 – Rompimento dos corpos de prova
Fonte: Autoria própria (2014)

4 ANÁLISES E RESULTADOS

4.1 DETERMINAÇÃO DA UMIDADE DOS AGREGADOS

Seguindo os procedimentos metodológicos foi determinada a umidade presente em cada agregado, sendo os resultados apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Teor de umidade dos agregados

Material	Massa úmida (g)	Massa seca (g)	Umidade (%)
Areia Natural	1475,69	1435,26	2,74
Areia Artificial	1497,25	1444,70	3,51
Areia Reciclada	1486,25	1432,25	3,63
Brita	2146,42	2119,42	1,25

Fonte: Autoria própria (2014)

4.2 CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS

4.2.1 Análise Granulométrica

Conforme descrito na metodologia para os ensaios, a partir da amostragem dos materiais e da secagem dos mesmos, foi realizada a análise granulométrica dos agregados utilizados para a produção do concreto, através do conjunto de peneiras com aberturas especificadas pela ABNT (figura 23).



Figura 23 – Jogo de peneiras
Fonte: Autoria própria (2014)

Para determinação da curva granulométrica dos agregados os ensaios realizados basearam-se na norma NBR 7211 e 7217 apresentado seu procedimento no Apêndice A, juntamente às referências das areias.

A partir dos resultados obtidos conforme a norma, obteve-se os traçados das curvas granulométricas, especificando-se a porcentagem retida acumulada de material em função da abertura das peneiras.

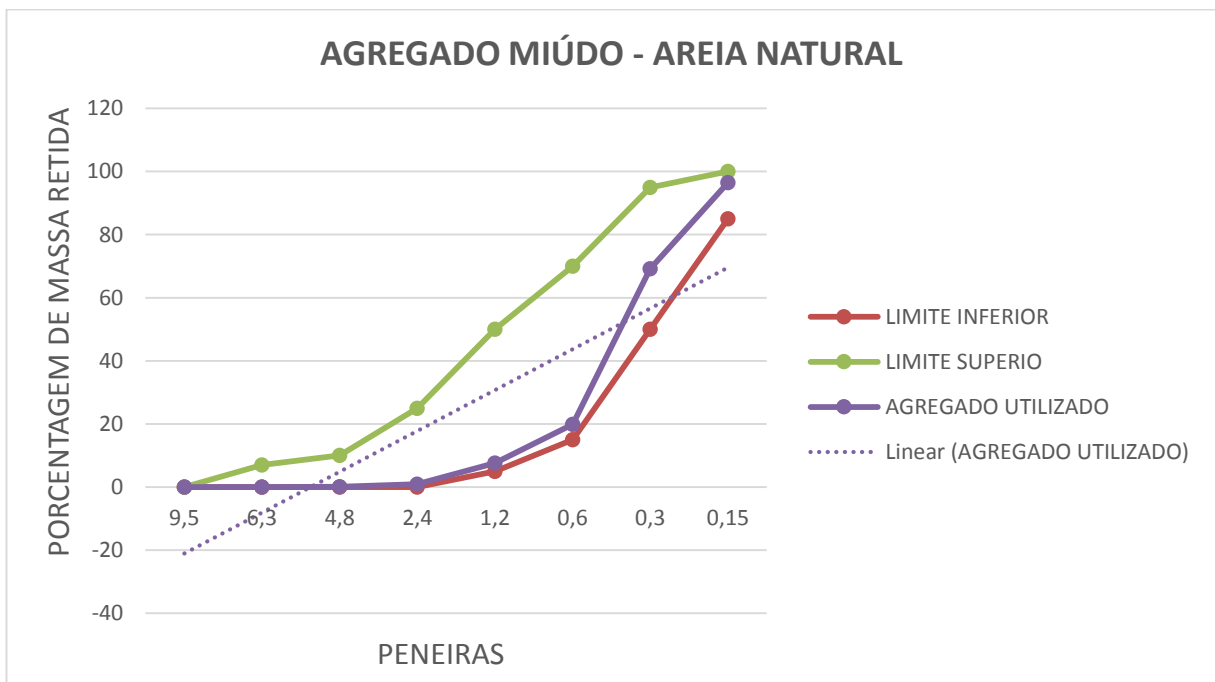


Gráfico 5 – Curva granulométrica do agregado natural
Fonte: Autoria própria (2014)

Com a análise dos resultados diante do comportamento granulométrico da areia natural, percebeu-se que a composição aproximou-se do limite inferior estabelecido por norma tendo-se assim uma quantidade significativa de finos na amostra, fato de importância considerável visto que na produção de concreto seco a trabalhabilidade não é de suma importância porém com tal material o aspecto visual acarreta em um ganho de qualidade no aspecto visual que, para emprego na fabricação de pavers torna-se um aspecto de suma importância.

Quando ensaiado a areia de britagem percebeu-se que sua relação granulométrica teve um comportamento mais aceitável que a areia natural, isto é, a curva gerada no gráfico do agregado se aproxima mais da curva de tendência produzido por tal, fato este observado no gráfico abaixo.

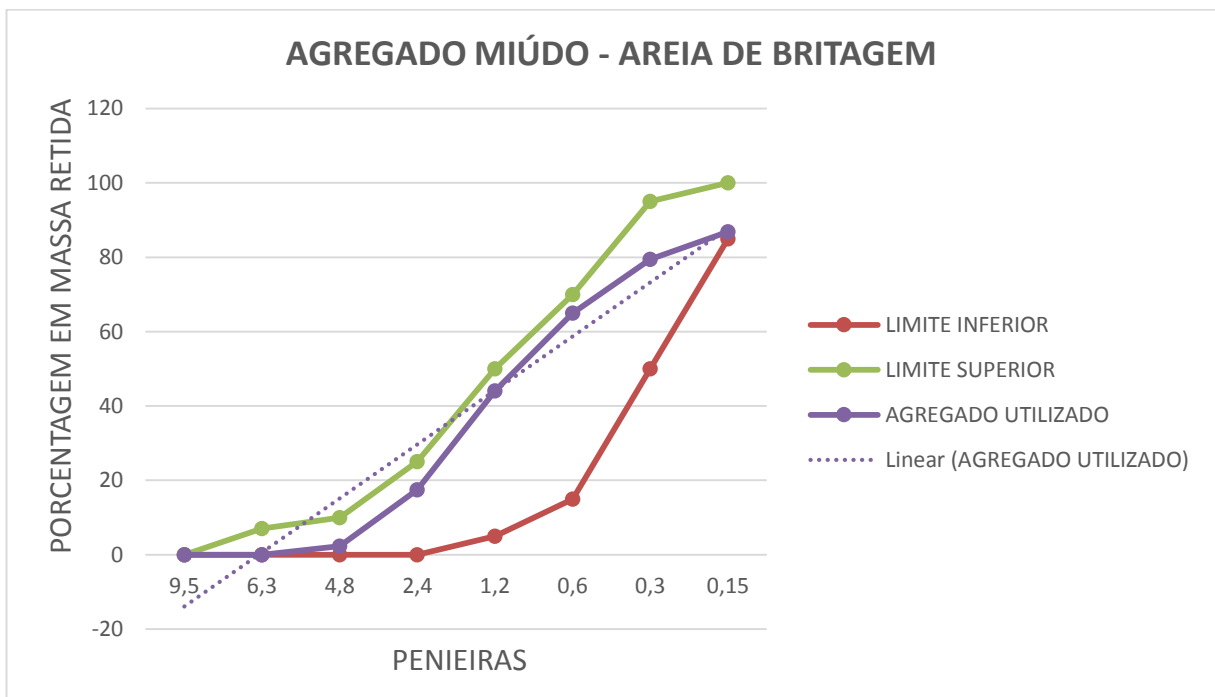


Gráfico 6 – Curva granulométrico do agregado de britagem
Fonte: Autoria própria (2014)

Percebe-se também, como há um aumento de material retido nas peneiras 1,2mm e 0,6mm, para tal, isto influenciará diretamente tanto no aspecto visual das peças quanto sua resistência à compressão.

O ensaio granulométrico do agregado reciclado procedeu-se da mesma maneira que os dois anteriores, porém, ao comparar-se sua curva granulométrica com o agregado natural e o agregado de britagem mostrou-se em melhor composição, isto

sendo sua curva ficando nem tão próximo ao limite superior como ocorreu no agregado de britagem, e nem tão próximo ao limite inferior ocorrido com o agregado natural.

Pode-se observar a curva granulométrica do agregado reciclado no gráfico 7.

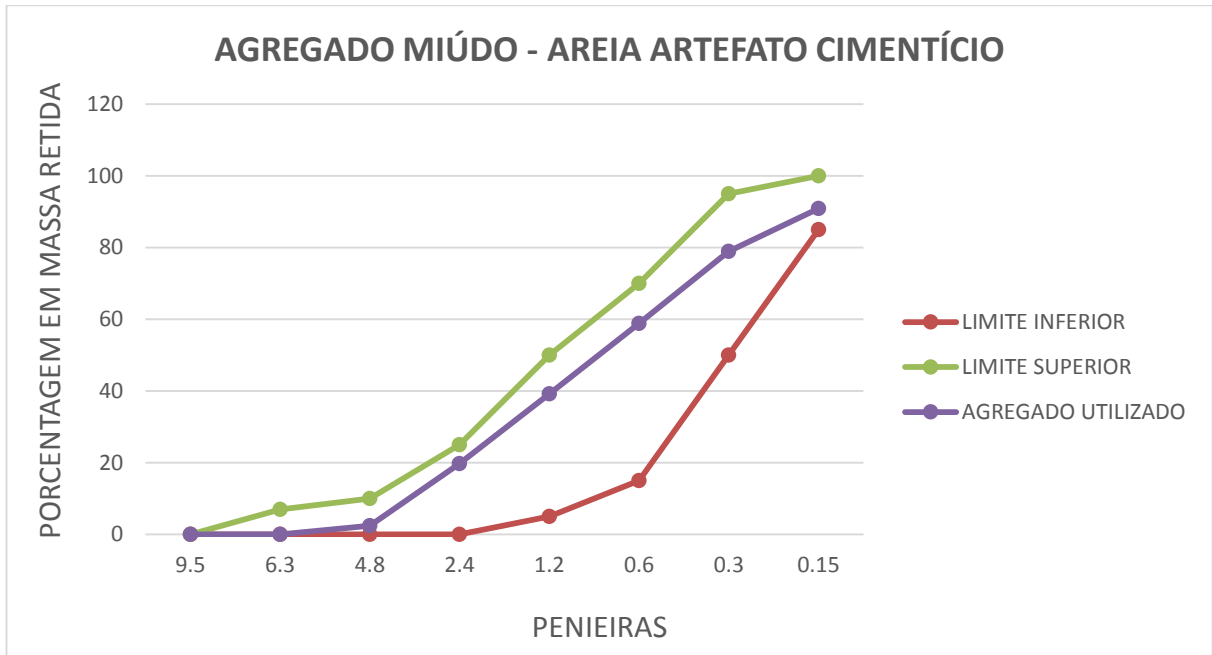


Gráfico 7 - Corpo de prova com dimensões em centímetros

Fonte: Autoria própria (2014)

A comparação das três curvas para uma melhor compreensão das exigências quanto aos limites inferiores e superiores imposta por norma pode ser notado no gráfico 8 abaixo:

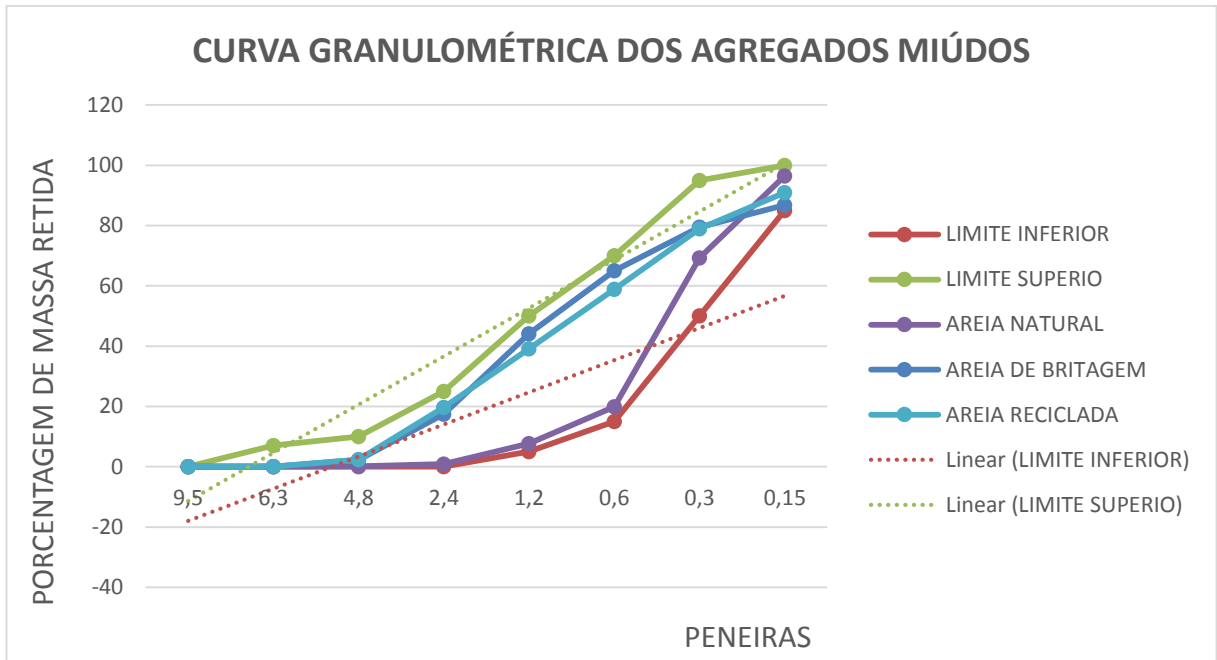


Gráfico 8 - Corpo de prova com dimensões em centímetros
Fonte: Autoria própria (2014)

Quando comparado à curva granulométrica gerada pela areia artificial, nota-se que tal é a que melhor se aproxima no meio da média produzida pelas linhas de tendência do limite superior quando do limite inferior.

Para o agregado graúdo, brita zero, a curva de distribuição granulométrica está exposta no gráfico 9.

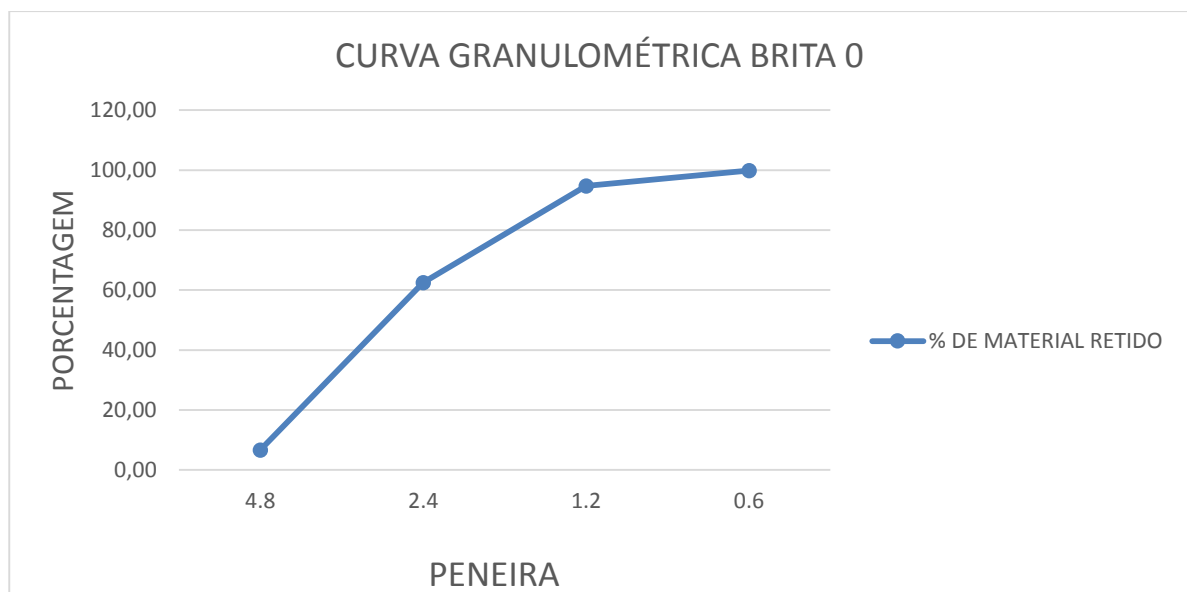


Gráfico 9 - curva de distribuição granulométrica
Fonte: Autoria própria (2014).

Tendo por base as composições granulométricas dos agregados foram definidas ainda o módulo de finura (MF) e a dimensão máxima característica (DMC) dos mesmos, como descrito na Tabela 2:

Tabela 3 - Módulo de finura e dimensão máxima característica

Agregado	MF (%)	DMC (mm)
Areia Natural	2,29	4,8
Areia de Britagem	3,12	4,8
Areia Reciclada	2,83	4,8
Brita 0	2,99	19,0

Fonte: Autoria própria (2014)

4.2.2 Determinação da massa específica

Foram aplicados os conceitos descritos na metodologia para a determinação das massas específicas dos agregados selecionados para a confecção do concreto seco, sendo que para cada material foram ensaiadas três amostras com massas aproximadas.

Para os agregados miúdos foi adotado o método do picnômetro que confere maior precisão aos resultados finais, sendo este apresentado, juntamente aos demais equipamentos do ensaio, na Figura 24.



Figura 24 Conjunto para determinação da massa específica
Fonte: Autoria própria (2014)

Através da Figura 25 pode ser observada a sequência das etapas para realização da determinação da massa específica pelo método do picnômetro. Tal procedimento está detalhado no apêndice B.



Figura 25 – Procedimento para determinação da massa específica
Fonte: Autoria própria (2014)

Para determinação da massa específica do agregado gráúdo, aplicou-se o método do frasco graduado.

Como resultado final de massa específica adotou-se a média das três amostras referente a massa específica de cada material. As massas específicas encontram-se na Tabela 4.

Tabela 4 - Massa específicas dos agregados

Agregado	Massa específica (g/cm³)
Areia Natural	2,68
Areia de Britagem	2,91
Areia Reciclada	2,64
Brita 1	2,90

Fonte: Autoria própria (2014)

4.2.3 Determinação da massa unitária dos agregados

Com a aplicação do ensaio de massa unitária segundo a metodologia de ensaio, foram obtidos os valores apresentados no Apêndice C. Para o resultado final novamente adotou-se a média como valor de referência das massas unitárias dos

agregados, conforme apresentado na Tabela 5.

Tabela 5 - Massa unitária dos agregados

Agregado	Massa unitária (g/cm³)
Areia Natural	1,58
Areia de Britagem	1,87
Areia Reciclada	1,63
Brita 0	1,57

Fonte: Autoria própria (2014)

4.3 PRIMEIRA FASE - PRODUÇÃO DE CORPOS DE PROVA COM UTILIZAÇÃO DE 100% DE AREIA NATURAL E 100% DE AREIA DE BRITAGEM

Nesta primeira fase são determinadas as relações empregando-se para moldagem dos corpos de prova com 100% de massa de areia natural e 100% de massa de areia de britagem, visto que a partir desta fase serão adotados os melhores resultados originados de cada natureza dos materiais e assim na segunda fase do procedimento serem aplicadas as porcentagens do agregado reciclado.

4.3.1 Determinação do traço empregado

Os traços obtidos estão diretamente relacionados à massa específica de cada material, e a porcentagem de cada agregado a ser aplicado. Para fim de estudos, determinou-se trabalhar com dois grupos de materiais pilotos, sendo um com a utilização de 100% de areia natural e outro com utilização de 100% de areia de britagem como agregado miúdo, para posteriormente ser acrescentado o agregado reciclado, com suas respectivas relações água/cimento. Os traços pilotos são:

Tabela 6 - Traço piloto – utilização de 100% areia natural

Cimento CPV ARI	Areia Natural 0	Brita	Água	Aditivo 0,35%	A/C
1	4,71	1,18	0,50	0,0035	0,5
1	4,71	1,18	0,46	0,0035	0,46

Fonte: Autoria própria (2014).

Nota-se que as proporções volumétricas desejadas foram alcançadas e as proporções em massa dos agregados também.

O mesmo procedimento foi tomado para determinação do traço piloto com utilização de 100% de areia de britagem, observando-se que na tabela 7 emprega-se uma relação a/c de 0,46 e uma relação a/c de 0,50, mantendo-se a relação volumétrica de 1:6,42.

Tabela 7 - Traço piloto – utilização de 100% areia de britagem

Cimento CPV ARI	Areia britagem	Brita	Água	Aditivo 0,35%	A/C
1	5,03	1,26	0,46	0,0035	0,46
1	5,03	1,26	0,46	0,0035	0,50

Fonte: Autoria própria

4.3.2 Moldagem dos corpos de prova de 10 x 8,89 centímetros

Para moldagem dos corpos de prova, separou-se procedimento em 3 grupos, sendo eles:

- Grupo 1 – Classificado pela natureza do material empregado, natural ou de britagem,
- Grupo 2 – massa específica a ser adotada, sendo de 2300 Kg/m³ ou 2500 Kg/m³
- Grupo 3 – relação água/cimento a ser empregada, podendo ser 0,46 ou 0,50.

Tabela 8 - Moldagem dos corpos de prova com traços pilotos

Corpo de Prova	Grupo 1	Grupo 2 (Kg/m ³)	Grupo 3	Nº de golpes	Energia (J)	Queda útil (cm)	Massa de concreto por corpo de prova (g)
1	Natural	2300	0,46	13	390	53	1.605,40
2	Natural	2300	0,46	10	300	53	1.605,40
3	Natural	2300	0,46	10	300	53	1.605,40
4	Natural	2300	0,46	15	450	53	1.605,40
5	Natural	2300	0,46	15	450	53	1.605,40
6	Britagem	2500	0,46	13	390	53	1.745,00
7	Britagem	2500	0,46	15	450	53	1.745,00
8	Britagem	2300	0,46	9	270	53	1.605,40
9	Britagem	2300	0,46	13	390	53	1.605,40
10	Britagem	2500	0,46	20	600	53	1.745,00
11	Britagem	2500	0,5	13	390	53	1745,00
12	Britagem	2500	0,5	11	330	53	1745,00
13	Britagem	2500	0,5	12	360	53	1745,00
14	Britagem	2300	0,5	11	330	53	1605,40
15	Britagem	2300	0,5	12	360	53	1605,40
16	Britagem	2300	0,5	13	390	53	1605,40
17	Natural	2300	0,5	12	360	53	1605,40
18	Natural	2300	0,5	11	330	53	1605,40
19	Natural	2300	0,5	9	270	53	1605,40
20	Natural	2500	0,5	13	390	53	1745,00
21	Natural	2500	0,5	19	570	53	1745,00
22	Natural	2500	0,5	21	630	53	1745,00

Fonte: Autoria própria (2014).

Os corpos de prova foram todos moldados na própria instituição. Para todos os corpos de prova o número de golpes empregados foi determinado para que quando feitas a segunda fase da compactação (como explicado em 3.7) o concreto compactasse 0,5 centímetros. Sendo assim, seria possível determinar a energia de compactação necessária para cada traço empregado com sua respectiva relação água cimento, lembrando-se que cada golpe gera 30 Joules de energia.

Após sete dias realizou-se o rompimento dos corpos de prova para determinar-se qual a composição de material empregado atingiu a maior resistência à compressão. Para comparação, a moldagem dividiu-se ainda em sub grupos, sendo a., b., c., d., e. e f, sendo que para cada sub grupo destes os corpos de prova foram moldados com as mesmas características no seu processo e materiais mostrado na Tabela 9.

Tabela 9 - Sub grupos

Corpo de Prova	Sub Grupos	Corpo de Prova	Sub Grupos
1	a.	6	b.
2		7	
3		8	
4		9	
5		10	
11	c.	14	d.
12		15	
13		16	
17	e.	20	f.
18		21	
19		22	

Fonte: Autoria própria (2014)

4.3.3 Obtenção das resistências a compressão dos corpos de prova 10 x 8,89 com areia natural e areia de britagem

O rompimento dos corpos de prova produzidos foi realizado na Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Pato Branco, no Laboratório de Materiais com a utilização do equipamento de ensaios de compressão Emic, máquina esta que proporciona uma melhor precisão em relação à velocidade de aplicação de carga obtendo-se melhores resultados e mais confiáveis.

Tabela 10 - Resistência à compressão

C.P	RESISTENCIA Mpa	C.P	RESISTENCIA Mpa
1	4,5	12	27,37
2	10,77	13	18,11
3	9,03	14	16,39
4	11,53	15	10,55
5	10,44	16	14,53
6	18,56	17	18,3
7	15,37	18	13,47
8	10,24	19	16,28
9	11,17	20	21,76
10	16,65	21	23,76
11	19,52	22	19,88

Fonte: Autoria própria (2014)

Pode-se notar a influência significativa na resistência das peças quando empregada uma certa relação água/cimento, energia de compactação e natureza do material. O gráfico abaixo ajuda a compreender melhor o comportamento das peças com a aplicação de uma determinada energia.

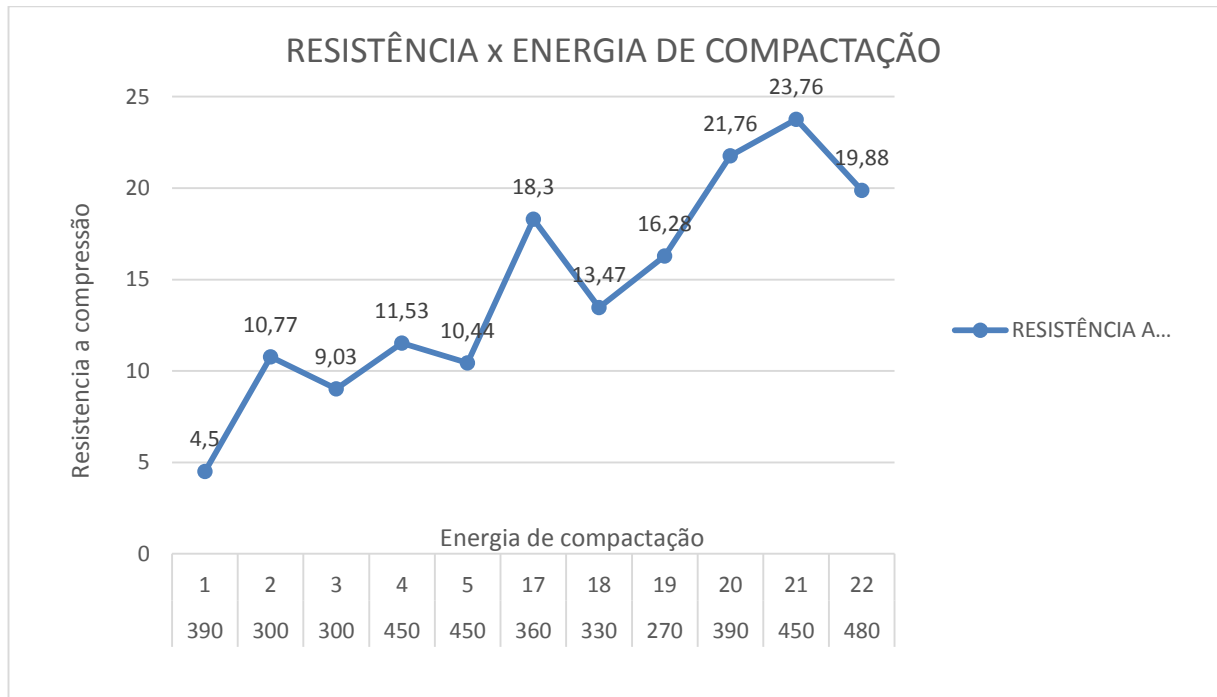


Gráfico 10 - Relação resistência à compressão x energia de compactação para areia natural
Fonte: Autoria própria (2014)

*Na legenda do gráfico, os números, 1, 2, 3, 4, 5, 17, 18, 19, 20, 21 e 22 representam o corpo de prova estudado.

Abaixo demonstra-se os melhores resultados obtidos em relação a natureza do material (areia natural), a/c e energia de compactação.

Tabela 11 - Melhor resultado de resistência para agregado natural

C.P	Agregado	Relação a/c	Energia de compactação (J)	Sub Grupos	Resistencia a compressão	Melhor resultado (MPa)
20	Natural	0,5	390	f.	21,76	23,76
21	Natural	0,5	450		23,76	
22	Natural	0,5	480		19,88	

Fonte: Autoria própria (2014)

Nota-se no gráfico abaixo, que, com a utilização do agregado areia de britagem, o melhor comportamento apresenta-se no sub grupo c.

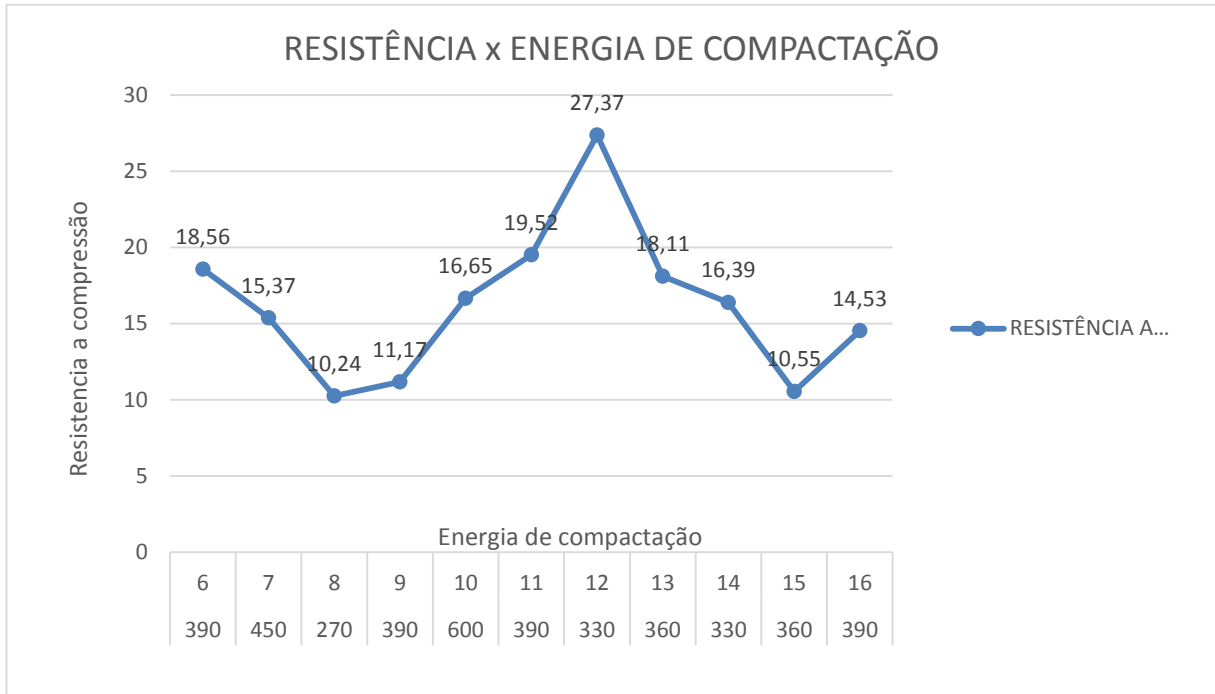


Gráfico 11 - Relação resistência x compressão para areia de britagem

Fonte: Autoria própria (2014)

Abaixo demonstra-se os melhores resultados obtidos em relação a natureza do material (areia de britagem), a/c e energia de compactação.

Tabela 12 - Melhor resultado de resistência para agregado britagem

C.P	Agregado	Relação a/c	Energia de compactação (J)	Sub Grupos	Resistencia a compressão	Melhor resultado (MPa)
11	Britagem	0,5	390		19,52	
12	Britagem	0,5	330	c.	27,37	27,37
13	Britagem	0,5	360		18,11	

Fonte: Autoria própria (2014).

Assim, determinou-se a melhor relação água cimento a ser empregado e a melhor energia de compactação aplicada para obter-se o melhor resultado para cada material. Após definidas as melhores aplicações para o agregado natural e de

britagem, procede-se com a aplicação das porcentagens do agregado reciclado utilizando-se as mesmas condições de moldagem e assim possibilitando avaliar exatamente qual a influência do uso deste agregado reciclado.

4.4 SEGUNDA FASE – PRODUÇÃO DOS CORPOS DE PROVA COM UTILIZAÇÃO EM DIFERENTES PORCENTAGENS DE AGREGADO RECICLADO

Nesta fase, desenvolverá os traços para cada porcentagem adotada na moldagem dos corpos de prova, e com isto será produzido os corpos de prova com emprego das mesmas condições obtidas quando analisado o melhor resultado dos corpos de prova com utilização de 100% de areia natural e 100% de areia de britagem.

4.4.1 Determinação do traço empregado

Para determinação do traço com utilização de areia reciclada procedeu-se com as mesmas considerações feitas para determinação dos traços pilotos. Realizada a determinação da massa específica do agregado reciclado os traços obtidos encontram-se no Apêndice D. Neste momento do processo não tem-se um traço piloto, pois, para cada uma das porcentagens de 20%, 40%, 60%, 80% e 100% aplicadas de agregado reciclado, um traço diferente foi procedido devido ao fato de ter-se a mistura de dois agregados miúdos distintos suas massas específicas diferentes suas relações volumétricas também apresentaram-se distintas.

4.4.2 Moldagem dos corpos de prova

Para moldagem dos corpos de prova com emprego da areia reciclada, determinou-se que seriam moldados 3 corpos de prova para cada porcentagem aplicada, 20%,40%, 60%, 80%, 100% afim de estudos.

Quando procedeu-se com a aplicação da areia reciclada junto a areia natural, as condições de moldagem foram as mesmas obtidas para a moldagem do corpo que obteve-se a maior resistência a compressão, condições esta sendo a relação água/cimento, energia de compactação relação volumétrica e relação das massas, agregado graúdo, porcentagem de aditivo e massa específica.

Como o equipamento produzido para moldagem dos corpos de prova tem o limitador de altura das pastilhas, limitador de altura da massa deslizante, o fator mais influente no comportamento a resistência do concreto nesta fase é a utilização da areia artificial.

O mesmo procedimento foi realizado para a moldagem dos corpos de prova com utilização de areia reciclada acrescentada na areia de britagem, visto que quando realizada a análise dos melhores resultados obtidos nas tabelas 11 e 12, o emprego da massa específica de 2500Kgm³, e relação água cimento foram em comum, assim apresentado na tabela abaixo as variâncias para realizar-se a moldagens dos demais corpos de prova.

Tabela 13 - Condições para moldagem dos corpos de prova

Material	% de agregado reciclado empregado	Energia de compactação (J)	Corpo de Prova	Energia de compactação (J)	% de agregado reciclado empregado	Material
Areia Nat		450	1	330		Areia Brit.
Areia Nat	20%		2		20%	Areia Brit.
Areia Nat			3			Areia Brit.
Areia Nat			4			Areia Brit.
Areia Nat	40%		5		40%	Areia Brit.
Areia Nat			6			Areia Brit.
Areia Nat			7			Areia Brit.
Areia Nat	60%		8		60%	Areia Brit.
Areia Nat			9			Areia Brit.
Areia Nat			10			Areia Brit.
Areia Nat	80%		11		80%	Areia Brit.
Areia Nat			12			Areia Brit.
Areia Nat			13			Areia Brit.
Areia Nat	100%		14		100%	Areia Brit.
Areia Nat			15			Areia Brit.

Fonte: Autoria própria (2014).

4.4.3 Obtenções das resistências à compressão dos corpos de prova 10 x 8,89 com utilização de areia de britagem junto a areia reciclada em suas porcentagens.

Tabela 14 - Resistências obtidas com emprego de areia reciclada

Corpo de prova	% Aplicada de areia reciclada	Resistencia a compressão em Mpa
1		22,15
2	20%	26,1
3		25,11
4		23,11
5	40%	22,52
6		23,25
7		23,82
8	60%	19,92
9		23,66
10		34,6
11	80%	29,52
12		31,81
13		19,06
14	100%	17,92
15		20,51

Fonte: Autoria própria (2014)

Pode-se notar um aumento significativo na resistência dos corpos de prova, chegando-se muito próximo de alcançar-se um dos objetivos que era produzir uma peça com resistência à compressão de 35 Mpa, resistência esta determinada como sendo mínima por norma para fabricação de pavers.

Como observado no gráfico 12, com a utilização de 20% e 40% tem-se um ganho significativo de resistência, notando-se quando utilizado 60% de massa sendo agregado reciclado, o comportamento mecânico da peça não é favorável, porém, quando utilizado a proporção de 80% de areia reciclada, o comportamento das peças mostram-se sendo a melhor proporção a ser aplicada, seu ganho de resistência à compressão aumentou consideravelmente e com a aplicação de 100% de material reciclado, tem-se uma média de 19,16Mpa de resistência à compressão, sendo que

tais peças poderiam ser empregadas em obras menos nobres, calçadas internas de condomínios e casas. O ganho não se limita apenas a este fato, pois, com a utilização de uma areia reciclada têm-se inúmeros benefícios tanto para a sociedade, meio ambiente, ecossistema e até mesmo para as fábricas de artefatos cimentícios que naturalmente geram resíduos durante os processos de fabricação podendo assim reduzir o desperdício, conseguir baixar os custos de produção logo podendo oferecer um produto ao mercado com preço inferior as demais empresas assim ganhando clientes e aumentando-se o lucro da empresa.

Tal fato não deve necessariamente ser aplicado apenas em fábricas, pois em canteiros onde a alvenaria é estrutural de blocos de concreto, cada bloco quebrado deixaria de ser um desperdício para a empresa e se tornando algo que se não houvesse lucro, também não haveria prejuízo.

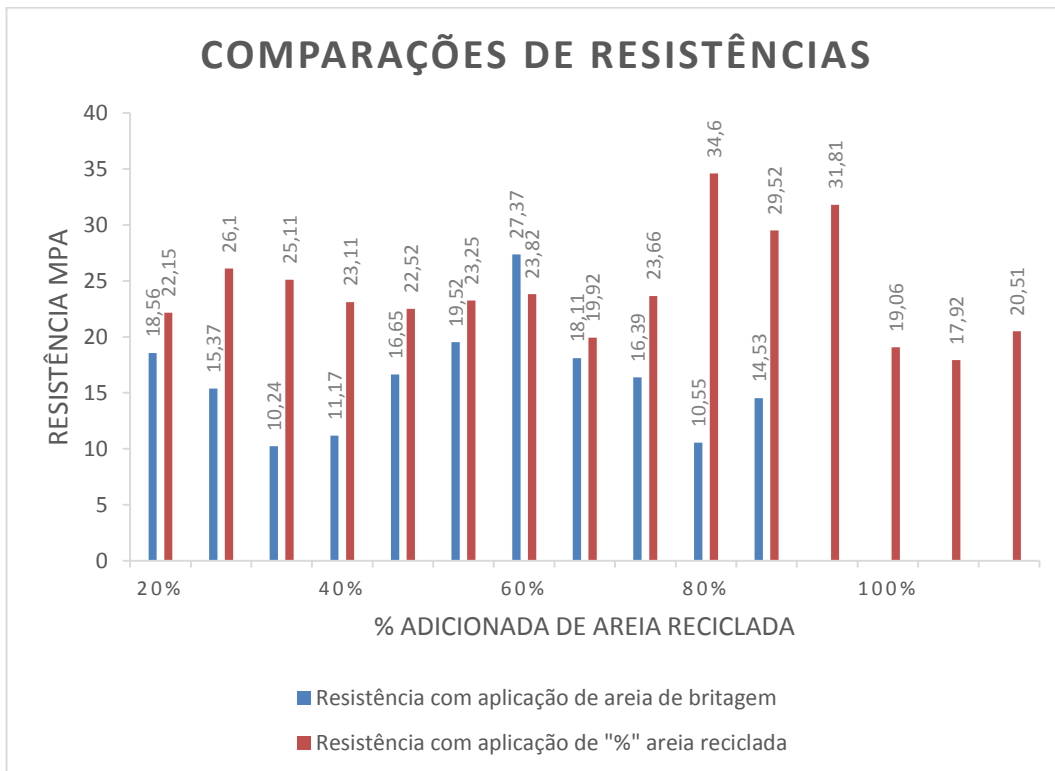


Gráfico 12 - Relação resistência x compressão para areia de britagem

Fonte: Autoria própria (2014)

4.4.4 Obtenções das resistências a compressão dos corpos de prova 10 x 8,89 com utilização de areia natural junto a areia reciclada em suas porcentagens.

Quando ensaiados os corpos de prova produzidos com utilização de 100% do agregado miúdo sendo areia natural, sua resistência à compressão quando comparado a peças produzidas com areia de britagem mostraram-se inferiores.

A tabela abaixo mostra os resultados quando produzidos os corpos de prova com aplicação de areia reciclada.

Tabela 15 - Resistências obtidas com emprego de areia reciclada

Corpo de prova	% Aplicada de areia reciclada	Resistencia a compressão em Mpa
1	20%	12,97
2		11,71
3		12,83
4	40%	9,67
5		5,6
6		6,33
7	60%	14,55
8		10,31
9		12,51
10	80%	17,95
11		14,42
12		18,28
13	100%	15,28
14		16,56
15		17,27

Fonte: Autoria própria (2014)

Para o gráfico abaixo nota-se claramente a influência do uso de areia reciclada quando produzidos os corpos de prova.

A comparação parte de averiguar todos os corpos de prova produzido com 100% de agregado natural quando misturados a porcentagens de areia reciclada.

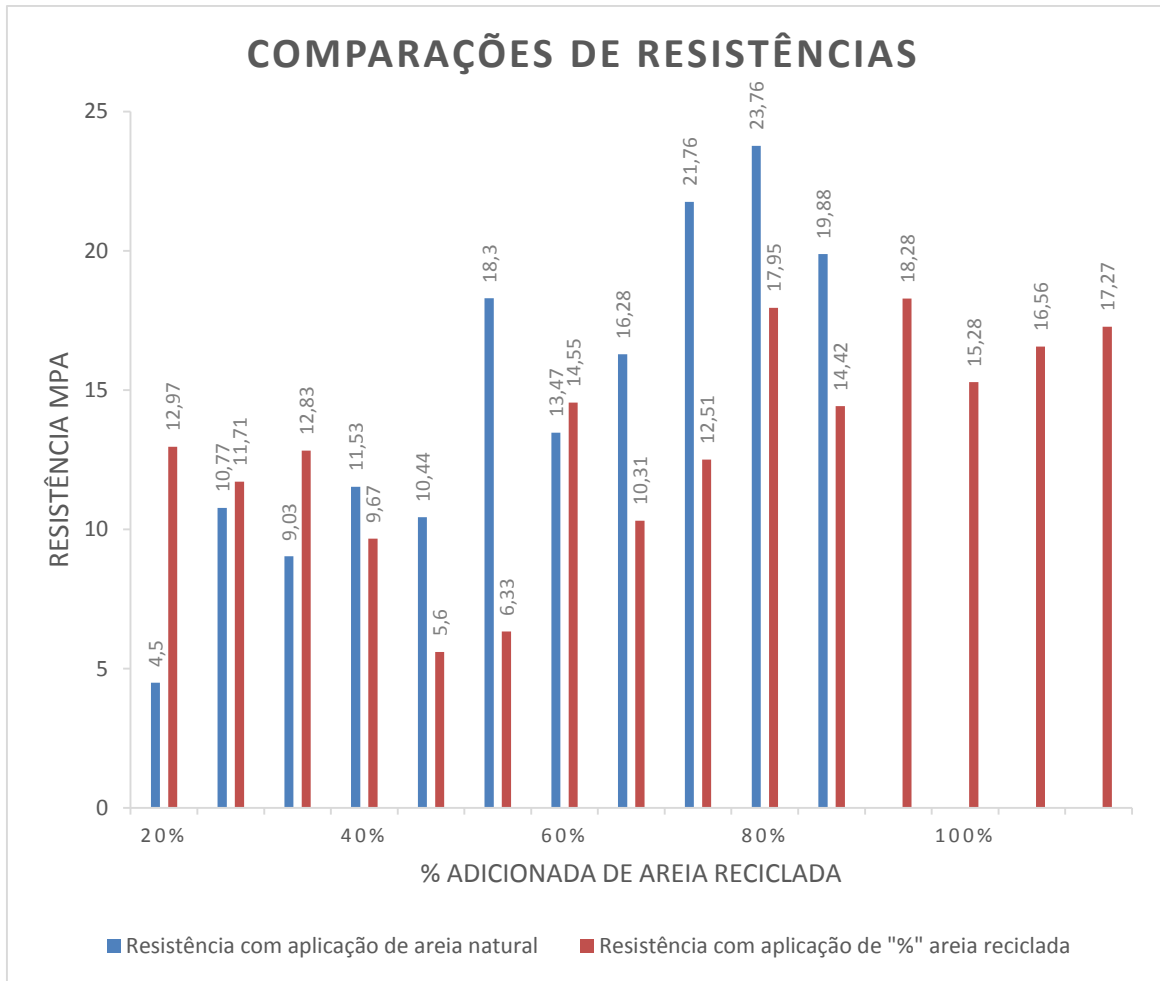


Gráfico 12 - Relação resistência x compressão para areia de britagem
Fonte: Autoria própria (2014)

O emprego de areia reciclada junto a areia natural mostrou um comportamento não desejável, a perda de resistência em todas as proporções aplicada de areia reciclada mostra-se a inviabilidade de se utilizar o agregado reciclado. Lembrando que tomou-se por base as condições que o corpo de prova moldado atingiu 23,76 Mpa condições estas de utilização da mesma energia de compactação, massa específica e relação água/cimento.

Com tais estudos realizados acredita-se não ser vantajoso para as fábricas que produzem paver utilizar em sua mistura areia natural e areia reciclada.

4.4.5 Influência do agregado diante o aspecto visual das peças

O aspecto visual das peças é de suma importância para produção de pavers, visto que o cliente procura em grande parte das vezes peças com superfícies mais lisas, e com menos defeitos aparentes, o emprego de um certo agregado influenciará diretamente nesta relação.

Na (Figura 26) observa-se que com a utilização do agregado areia de britagem para a produção dos corpos de prova, quando analisado seu acabamento, textura e aspecto visual, mostra um produto não comercial, e como tais aspectos podem ocorrer quando feito as peças de paver em uma fábrica, sua comercialização encontrará dificuldade. No entanto, os corpos de prova produzidos com areia natural mostraram um ótimo acabamento tanto na textura, acabamento e seu aspecto visual, sendo este um produto comercial, pois além da procura de um produto que alcance as resistências mínimas estabelecidas por norma, a beleza da peça tem grande influência.



Aspecto visual com utilização de 100% de areia de britagem



Aspecto visual com utilização de 100% de areia natural

Figura 26 – Aspecto visual
Fonte: Autoria própria (2014)

Temos então, peças que apresentam bom aspecto visual, porém perdem em relação à resistência à compressão para as peças que possuem um aspecto visual com regularidade.

A figura abaixo mostra o comportamento visual das peças quando acrescentada areia reciclada com suas respectivas porcentagens.

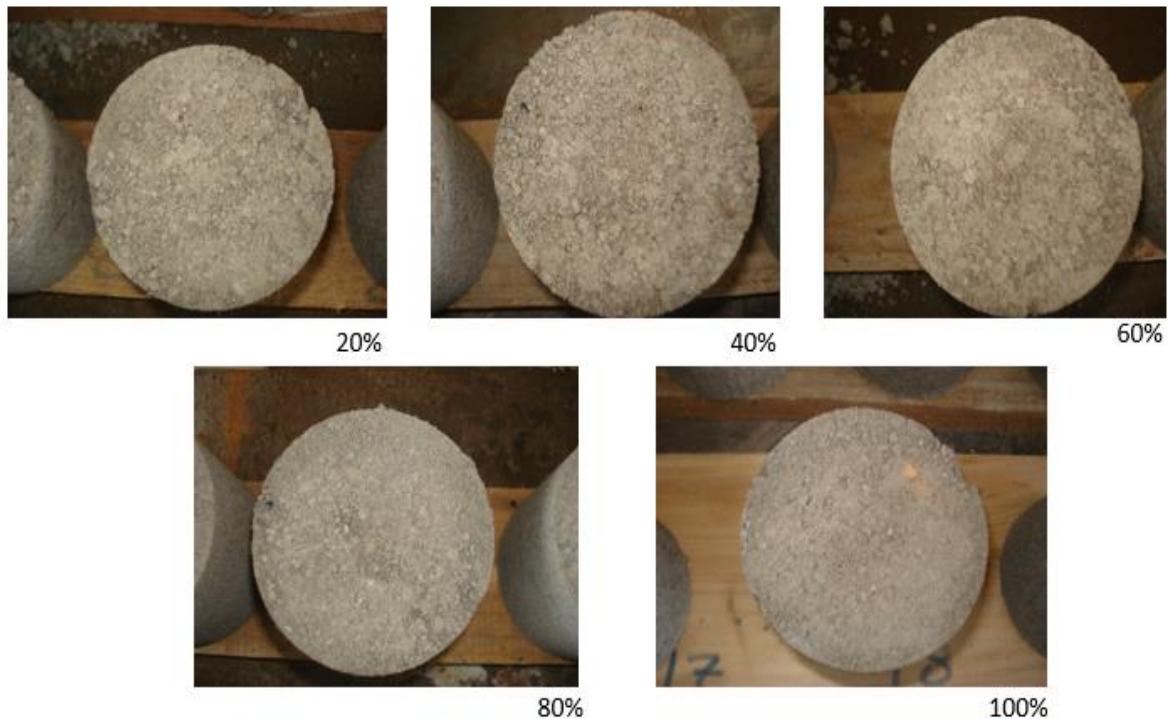


Figura 27 - Evolução na melhoria do aspecto visual
Fonte: Autoria própria (2014)

Como a areia reciclada apresenta maior quantidade de finos em sua composição granulométrica, quando aplicado ocorre uma melhora significativa no aspecto visual das peças, visto ainda que, o melhor resultado de resistência à compressão das peças produzidas com areia de britagem afere-se com a aplicação de 80% de areia reciclada, com isto, tendo-se uma peça de boa resistência e boa qualidade visual.

O mesmo não ocorre para peças produzidas com 100% de areia natural, percebe-se na (figura 27), houve uma perda da qualidade visual com a aplicação da areia reciclada, e a resistência a compressão também foi prejudicada.

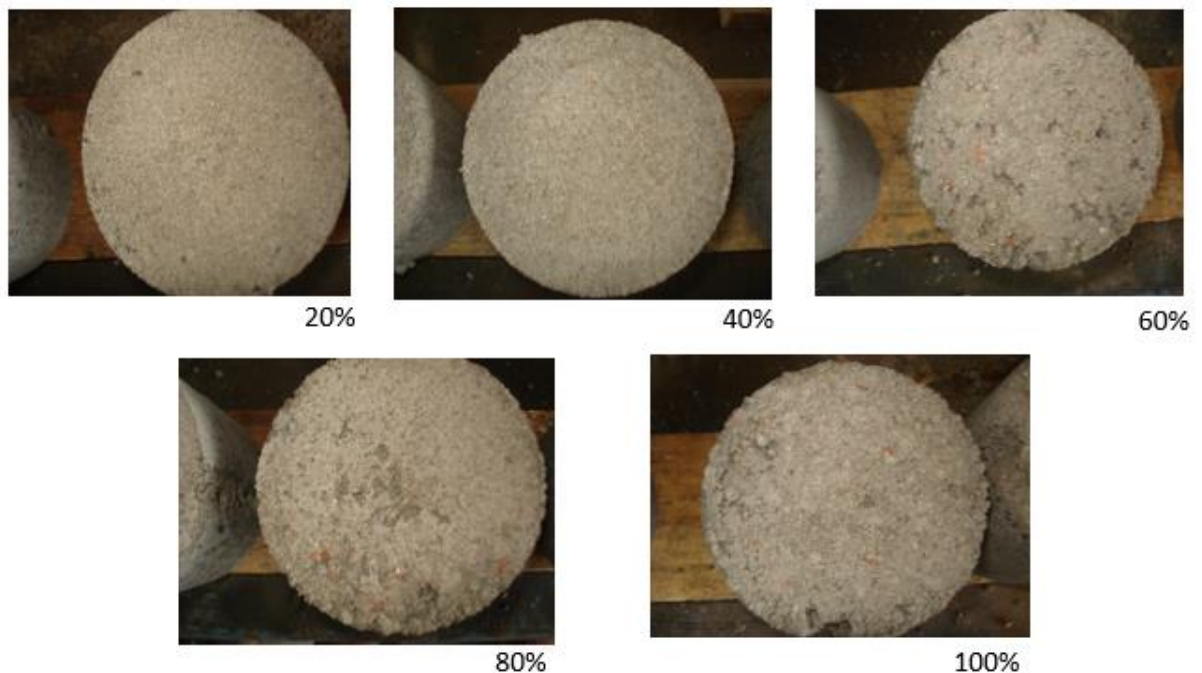


Figura 28 - Evolução na piora do aspecto visual
Fonte: Autoria própria (2014)

Assim sendo, após realizados estudos, percebe-se que há vantagens em se empregar agregado reciclado junto ao agregado de britagem, tanto em função da resistência quanto do aspecto visual, porém, as mesmas vantagens não são alcançadas quando há mistura da areia natural com areia reciclada, perdendo tanto em resistência à compressão quanto ao aspecto visual.

4.4.6 Relações do consumo de cimento para cada proporção de areia reciclada empregada na mistura do concreto

Como todos os traços foram desenvolvidos mantendo-se a relação volumétrica cimento/materiais secos de 1:6,42, o cálculo do consumo de cimento foi determinado para cada material empregado.

A primeira análise observa-se o consumo de cimento em corpos de prova utilizando 100% dos agregados determinados, agregados estes sendo, areia natural, areia de britagem e areia artificial.

Tabela 16 - Consumo de cimento

Agregado	Consumo de cimento Kg/m³
natural	333,21
britagem	337,29
reciclado	333,63

Fonte: Autoria própria (2014)

Percebe-se que o maior consumo de cimento aplica-se na produção de peças com utilização de areia de britagem, porém, tais peças como mostrado anteriormente mostraram-se com melhor comportamento em relação à resistência mecânica.

A seguir analisa-se o consumo de cimento quando aplicado às porcentagens de areia reciclada junto ao agregado natural.

Tabela 17 - Consumo de cimento com areia natural e reciclado

Aplicação de areia reciclada	Consumo de cimento Kg/m³
20%	336,79
40%	346,52
60%	341,69
80%	336,98
100%	333,63

Fonte: Autoria própria (2014)

Comparando o consumo de cimento quando aplicado 100% de areia natural, percebe-se o aumento para aplicação de areia reciclada, assim sendo, chega-se a conclusão que o emprego de areia reciclada não é vantajoso nos aspectos estudados, aspectos estes de resistência mecânica, aspecto visual e o consumo de cimento.

Analisando-se o consumo gerado quando aplicado às porcentagens do material reciclado em peças produzidas com areia de britagem percebe-se que ocorre tanto um aumento de consumo de cimento quando uma redução conforme apresentada na tabela abaixo:

Tabela 18 - Consumo de cimento com areia de britagem e reciclado

Aplicação o de areia reciclada	Consumo de cimento Kg/m ³
20%	336,78
40%	336,66
60%	334,3
80%	334,51
100%	333,63

Fonte: Aatoria própria (2014)

Quando analisada a tabela acima percebe-se que houve uma redução no consumo de cimento nos 80% de aplicação de agregado reciclado. Lembrando-se que nesta mesma porcentagem obteve-se a peça com o melhor comportamento em relação à resistência à compressão, atingindo-se 34,4 Mpa, e um bom aspecto visual, conclui-se que esta relação é a melhor a ser adotada para fabricação de paver.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Partindo do fato da insuficiente utilização e destinação aos resíduos sólidos produzidos pela construção civil, o presente trabalho incorporou conceitos ambientais, sociais e econômicos.

A busca por um produto que pudesse utilizar estes materiais que muitas vezes não são reutilizados e pela quantia exorbitante de toneladas de resíduos produzidos por ano, fez-se que se repensasse nos valores sócios-ambientais para que se pudesse contribuir de alguma forma para a melhoria da sociedade.

Nesse sentido, a fim de estudo, precedeu-se com a separação do material reciclado base a ser utilizado, material este sendo agregado originado da moagem de artefatos cimentício e sendo utilizado como agregado miúdo para produção do concreto.

O objetivo de fabricar peças de pavers com resistência mínima de 35 Mpa determinada pela NBR 9780 foi alcançado, chegou-se a uma resistência muito próxima da desejada sendo de 34,6 Mpa considerada 35 Mpa, visto que tais peças foram rompidas com 7 dias após sua produção, o ganho de 0,4Mpa na sua resistência com o passar dos dias poderá tranquilamente ser alcançado, assim, podendo-se atingir ao objetivo principal deste estudo. Porém, como não se teve peças rompidas aos 14 dias, recomenda-se a utilização dos pavers para obras menos nobres, como, passeios de condomínios, calçadas de casas, pátios onde não traficam carros, entre outros.

Para posteriores estudos, uma possibilidade para se alcançar o objetivo com relação à resistência à compressão das peças seria trabalhar com uma relação água/cimento reduzida, com aplicação do mínimo de aditivo super plastificante, e aumentar a porcentagem na utilização de incorporador de ar.

A aplicação de areia reciclada para fabricação de peças de paver foram analisadas a partir de duas bases, sendo estas: peças feitas com agregado natural e de britagem, podendo-se concluir que quando 80% de agregado reciclado é empregado junto a areia de britagem na mistura do concreto, os benefícios se tornam inúmeros, como um dos objetivos foi analisar o aspecto visual das peças, tais apresentaram resultados positivos, e visto ainda que o consumo de cimento diminuiu-se com esta proporção acarreta diretamente na diminuição dos impactos ambientais,

isto sendo, temos redução de resíduos sólidos, diminuição de uso de cimento amenizando a emissão de gases poluentes e produzindo um produto de qualidade.

Quando analisado o uso de areia natural para produção das peças, seu comportamento mecânico foi abaixo do esperado, apesar de apresentar uma qualidade excelente no aspecto visual, a resistência à compressão é baixíssima. Estudos mais aprofundados podem ser realizados para analisar a relação do índice de vazios, pois tais índices estão relacionados diretamente a natureza do material influenciando na resistência mecânica das peças.

Para tais resultados encontrados, sugere-se a confecção de peças de pavers em fábricas com utilização de vibro-prensa, sendo estas peças produzidas com o mesmo traço de concreto empregado no trabalho presente.

REFERÊNCIAS

ABRELPE. Panorama dos resíduos sólidos no Brasil. 2013. Disponível em: http://www.abrelpe.org.br/panorama_apresentacao.cfm, acesso em 12 de novembro de 2014.

ALBUQUERQUE, Flávia. **42% dos resíduos sólidos coletados no país vão para locais inadequados, indica estudo.** 2014. Disponível em: <http://memoria.ebc.com.br/agenciabrasil/noticia/2012-05-08/42-dos-residuos-solidos-coletados-no-pais-vaio-para-locais-inadequados-indica-estudo>

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

ANDRADE, Artemaria; AGOPYJAN, Vahan et al. **Estimativa da quantidade de entulho produzido em obras de construção de edifícios.** In: IBRACON, ANAIS IV SEMINÁRIO - Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção Civil, Comitê Técnico CT 206 - Meio Ambiente, 2001.

ANGULO, S.C. et al. **Metodologia de caracterização de resíduos de construção e demolição.** In: VI Seminário Seminário de Desenvolvimento sustentável e a reciclagem na construção civil, 2003a, São Paulo. Anais. IBRACON CT-206/IPEN.

BIDONE, Francisco Ricardo A.; POVINELLI, Jurandy. **Conceitos Básicos de Resíduos Sólidos.** São Paulo: EESC/USP, 1999. 109 p.

CALDERONI, Sabetai. **Os Bilhões Perdidos no Lixo. 2. ed.** São Paulo: Humanitas, 1998. 348 p.

CASTILHOS JR., Amado. B. et al. **Gerenciamento de Resíduos Sólidos Urbanos com ênfase na Proteção de Corpos d'água: prevenção, geração e tratamento de lixiviados de aterro sanitário.** Rio de Janeiro: Ed. Abes, 2006.

CONAMA – **Resíduos da construção civil, Ministério do Meio Ambiente, MA, Propostas de resolução,** Brasília, 2002. <<http://www.mma.gov.br>> Acesso em: 12 junho. 2014.

COSTA, N. et al. **Planejamento de Programas de Reciclagem de Resíduos de Construção e Demolição no Brasil: uma Análise Multivariada.** In: Artigo técnico, São Paulo, 2007.

DOWSON, A. **Mix Design for Concrete Blcok Paving.** Procedures 1 international conference on CBP. 1980.

DOMSP – Diário Oficial do Município de São Paulo, 30 de Dezembro de 2002.

FERNANDES, I. **Blocos e pavers**: produção e controle de qualidade. São Paulo: Treino Assessoria e Treinamentos Empresariais LTDA, 2008.

IBGE. 2010. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010.

FERNANDEZ, Jaqueline. **RELATÓRIO PRELIMINAR DA SITUAÇÃO ATUAL DOS RESÍDUOS SÓLIDOS NO BRASIL - RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL**. Julho 2011.

HALLACK, A. **Dimensionamento de pavimentos com revestimento de peças pré-moldadas de concreto para áreas portuárias e industriais**. Dissertação (mestrado) – Escola Politécnica Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

HUSKEN, G; BROUWERS, H. J. H. **A new mix desing concept for earth-moist concrete**. Cement and Concrete Research, n. 38, p. 1246-1259, 2008.

JOHN, Wanderley M.; AGOPYAM, Vahan. **Reciclagem de resíduos na construção**. In: **Seminário de resíduos sólidos domésticos**, p.1-13, São Paulo, SP, 2000. Disponível em: <<http://www.pcc.usp.br>>

JOHN, Vanderley M. **Desenvolvimento Sustentável, Construção Civil, Reciclagem e Trabalho Multidisciplinar**. Disponível em: <<http://www.reciclagem.pcc.usp.br>>

JOHN, V.M.; AGOPYAN, V. **Reciclagem de resíduos da construção**. Seminário - Reciclagem de resíduos sólidos domésticos, São Paulo, 2000.

JÚNIOR, Nelson Boechat Cunha (Coord.). **Cartilha de gerenciamento de resíduos sólidos para construção civil**. Belo Horizonte: SINDUSCON-MG, 2005. 38p.

JUVAS, K. Very dry precasting concrete. **Special Concretos: Workability and Mixing**. Proceeding of the International RILEM . London, 1993. p. 153-168

“JOHN, V.M. **Reciclagem de resíduos sólidos na construção civil: Contribuição de metodologia e pesquisa e desenvolvimento**. São Paulo, 2000.113p. Tese (Livre Docência) – Departamento de Engenharia de Construção Civil – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

MEHT, P.K.; MONTEIRO, P.J.M. **Concreto**: estrutura, propriedades e materiais. 3 ed. São Paulo: Pini, 2008.

NEVILLE, A.M. GIAMMUSSO, S.E. **Propriedades do concreto**. São Paulo: PINI, 1997.

PINTO, T. P. **Metodologia para a gestão Diferenciada de Resíduos Sólidos da Construção Urbana. Tese de doutorado em engenharia**. Escola Politécnica da USP. Área de concentração: Engenharia de Construção Civil e Urbana. 1999.

PINTO, T. P. P. **Utilização de Resíduos de Construção: estudo do uso em argamassas**. São Paulo, 1986. 137 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1986.

RIBEIRO, H. C. **Aplicação de Resíduos Sólidos da Construção Civil em Revestimento Asfáltico tipo CBUQ PF-001A/04**, Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Goiás, Anápolis, Go, 91p. 2004.

SILVEIRA, A. A.; FERREIRA, A.; DAL MOLIN D. C. C. **A cinza da casca de arroz como adição mineral. In: Workshop Reciclagem e Reutilização de Resíduos como Materiais de construção Civil**, 1996, São Paulo. Anais. São Paulo, EPUSP/ANTAC, 1997.

SANTOS, E. C. G. (2007). **Aplicação de resíduos de construção e demolição reciclados(RCD-R) em estruturas de solo reforçado**. São Carlos. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 173p.

TANGO, C. E. S. **Fundamentos de dosagem de concreto para blocos estruturais**. Florianópolis, Brasil, 1994.

VIEIRA, G.L.; MOLIN, D.C.C.D.; LIMA, F.B. de . **Resistência e Durabilidade de Concretos Produzidos com Agregados Reciclados Provenientes de Resíduos de Construção e Demolição**. Guimarães-Portugal: Engenharia Civil da Universidade do Minho, No.19, 05-18, 2004.

MEHTA, P.K ; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estrutural, propriedades e materiais**. Editora Pini. 3ª edição. São Paulo, 2008.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Procedimentos para a realização da composição granulométrica dos agregados

Seguindo o especificado pela NBR NM 248 (ABNT, 2003), os agregados passaram pelo processo de determinação de suas composições granulométricas.

Depois de realizada a amostragem do material o mesmo foi seco em estufa e dividido em duas novas amostras. As peneiras utilizadas foram as da série normal, com fundo e tampa, sendo dispostas com abertura de malha em ordem crescente da base para o topo. Para os agregados miúdos natural, britagem e reciclado, as peneiras empregadas comportaram a sequência com aberturas de: 6,30 mm; 4,80 mm; 2,40mm; 1,20 mm; 0,600 mm; 0,300 mm; 0,150 mm e 0,075 mm. Enquanto que para o ensaio do agregado graúdo as peneiras utilizadas foram as de aberturas: 25,00 mm; 19,00 mm; 12,70 mm; 9,50 mm; 6,30 mm, 4,80 mm e 2,40 mm.

A amostra de agregado miúdo, previamente separada e seca, foi depositada sobre a peneira superior do conjunto, de modo a evitar que fosse formada uma camada muito espessa. Na sequência, o conjunto de peneiras foi agitado mecanicamente, por um tempo razoável de forma a promover a separação e classificação granulométrica do material em seu interior. Ainda, cada peneira com tampa foi acoplada na peneira de malha imediatamente inferior e ao fundo, sendo agitada manualmente.

Em seguida, o material retido em cada peneira e no fundo passou por pesagem. De posse dessa informação, fez-se o cálculo da porcentagem de partículas de igual dimensão retidas em cada peneira, em relação à massa total da amostra peneirada, bem como, as porcentagens retidas acumuladas. Sendo que, ao fim, o somatório de todas as massas não deve diferir em mais de 0,3% da massa inicial peneirada.

Além disso, objetivou-se determinar o módulo de finura de cada agregado, através da soma das porcentagens retidas acumuladas em massa, nas peneiras da série normal, dividida por 100. Também, foi definida a dimensão máxima característica do agregado, que corresponde à abertura nominal, em milímetros, da malha na qual o agregado apresenta uma porcentagem retida acumulada igual ou imediatamente inferior a 5% em massa.

O procedimento foi repetido com a segunda amostra preparada.

APÊNDICE B – Procedimentos para a determinação da massa específica dos agregados

Com o material coletado na amostragem e reduzido para ensaio segundo as especificações, tomou-se por base os procedimentos da NBR NM 52 (ABNT, 2009) e aplicou-se o método do picnômetro para a determinação da massa específica dos agregados.

Para os agregados miúdos, inicialmente, foram separadas amostras para cada tipo de areia. Na sequência, as amostras foram pesadas e reservadas individualmente. O picnômetro foi completado com água e também se retirou a massa do conjunto frasco/água. Após isso, tomou-se uma amostra e a mesma foi depositada no frasco aferido específico do ensaio, completando-se com água e registrando-se a massa do conjunto. O sistema foi movido para a eliminação das bolhas de ar e depois mantido em repouso por aproximadamente 1 hora. Após isso, o nível da água foi novamente completado até a borda do frasco, determinando-se a massa total. O ensaio foi repetido com três amostras de areia natural e três de areia artificial. A partir de tais dados foi possível a determinação da massa específica dos agregados miúdos.

Para o agregado graúdo, aplicou-se o método do frasco graduado. Selecionou-se a amostra seca e aferiu-se a massa da mesma, preencheu-se um frasco graduado com água até um volume conhecido e após isso, depositou-se a amostra dentro do mesmo, conferindo o volume final alcançado. Reproduziu-se o ensaio com três amostras de massas de aproximadamente iguais. Dividindo-se a massa da amostra pela variação de volume provocada pela mesma, obteve-se a massa específica do material.

APÊNDICE C – Procedimentos para a determinação da massa unitária dos agregados

A determinação da massa unitária dos agregados teve por base a NBR NM 45 (ABNT, 2006). Utilizou-se um pote plástico para realização do ensaio, sendo que o recipiente passou por pesagem e uma calibração para que seu volume fosse devidamente conhecido. Para isso, preencheu-se o mesmo com água e cobriu-se com uma placa de vidro a fim de eliminarem-se as bolhas de ar e o excesso da água. Assim, determinou-se a massa do recipiente cheio e a temperatura da água. Através da temperatura, encontrou-se a massa específica da água e com esta, o volume do recipiente, dividindo-se a massa de água por sua massa específica.

Com os agregados devidamente secos, iniciou-se o ensaio. O recipiente foi preenchido individualmente pelos materiais em questão com lançamento de uma altura de aproximadamente 50 cm até o transbordamento, seguido do nivelamento da superfície e da pesagem do conjunto. Ao ser dividida a massa do material pelo volume do recipiente definiu-se a massa unitária do mesmo. O procedimento foi repetido com três amostras de cada material.

APÊNDICE D – Traços obtidos com as porcentagens aplicadas de areia reciclada com areia natural e areia de britagem.

Porcentagem de areia reciclada	Cimento CPV ARI	Areia Natural	Areia Reciclada	Brita	Aditivo 0,35%	A/C
20%	1,00	3,90	0,97	0,97	0,35	0,50
40%	1,00	2,91	1,94	0,97	0,35	0,50
60%	1,00	1,94	2,91	0,97	0,35	0,50
80%	1,00	0,97	3,88	0,97	0,35	0,50
100%	1,00	0,00	4,83	0,96	0,35	0,50

Porcentagem de areia reciclada	Cimento CPV ARI	Areia Britagem	Areia Reciclada	Brita	Aditivo 0,35%	A/C
20%	1,00	4,12	1,03	1,03	0,35	0,50
40%	1,00	3,03	2,02	1,01	0,35	0,50
60%	1,00	2,00	3,00	1,00	0,35	0,50
80%	1,00	0,98	3,92	0,98	0,35	0,50
100%	1,00	0,00	4,83	0,96	0,35	0,50