

**UNIVERSIDADE NOVE DE JULHO
PROGRAMA DE MESTRADO PROFISSIONAL EM ADMINISTRAÇÃO
GESTÃO AMBIENTAL E SUSTENTABILIDADE**

GISELLE WALDTRAUT MATHES ORCIOLI PIRES

**AVALIAÇÃO DE BLOCOS INTERTRAVADOS MANUFATURADOS COM
CONCRETO DOSADO COM RESÍDUOS DE PET COMO ALTERNATIVA
SUSTENTÁVEL NA CONSTRUÇÃO CIVIL.**

**SÃO PAULO
2015**

GISELLE WALDTRAUT MATHES ORCIOLI PIRES

**AVALIAÇÃO DE BLOCOS INTERTRAVADOS MANUFATURADOS COM
CONCRETO DOSADO COM RESÍDUOS DE PET COMO ALTERNATIVA
SUSTENTÁVEL NA CONSTRUÇÃO CIVIL.**

**EVALUATION OF CONCRETE PAVING BLOCKS MANUFACTURED WITH PET
WASTE AS ALTERNATIVE IN SUSTAINABLE CONSTRUCTION.**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Administração da Universidade Nove de Julho – UNINOVE, como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre** em Gestão Ambiental e Sustentabilidade.

Prof. João Alexandre Paschoalin Filho, Dr. –
Orientador

São Paulo
2015

Pires, Giselle Waldtraut Mathes Orcioli.

Avaliação de blocos intertravados manufaturados com concreto dosado com resíduos de PET como alternativa sustentável na construção civil. / Giselle Waldtraut Mathes Orcioli Pires. 2015.

Pires. 2015.

113 f.

Dissertação (mestrado) – Universidade Nove de Julho - UNINOVE, São Paulo, 2015.

Orientador (a): Prof. Dr. João Alexandre Paschoalin Filho.
Construção civil. 2. Resíduos. 3. PET. 4. Inovação tecnológica e Sustentabilidade.

I. Filho Paschoalin, João Alexandre.

II. Título

CDU 658.504.06

**AVALIAÇÃO DE BLOCOS INTERTRAVADOS MANUFATURADOS COM
CONCRETO DOSADO COM RESÍDUOS DE PET COMO ALTERNATIVA
SUSTENTÁVEL NA CONSTRUÇÃO CIVIL.**

Por

Giselle Waldtraut Mathes Orcioli Pires

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Administração da Universidade Nove de Julho – UNINOVE, como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre** em Gestão Ambiental e Sustentabilidade.

Prof. Dr. David de Carvalho – UNICAMP

Prof. Dr. João Alexandre Paschoalin Filho – Universidade Nove de Julho – UNINOVE

Prof. Dr. Pedro Luiz Côrtes – Universidade Nove de Julho – UNINOVE

São Paulo, 12 de março de 2015.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos amores da minha vida e a todos aqueles que de alguma forma estiveram e estão próximos de mim, fazendo esta vida valer cada vez mais a pena.

AGRADECIMENTOS

À minha família, especialmente ao meu marido e companheiro Fábio Pires, que sempre esteve ao meu lado e foi meu principal incentivador, sem o qual não teria conseguido finalizar mais esta etapa da minha vida.

Aos meus pais que sempre apoiaram e me incentivaram em minhas escolhas e à minha filha Valentine pela paciência e compreensão pelo meu escasso tempo.

Ao orientador Prof. Dr. João Alexandre Paschoalin Filho que de maneira competente tem contribuído para o desenvolvimento da pesquisa científica e tecnológica, pela oportunidade para o desenvolvimento deste trabalho e pelo extremo profissionalismo com que sempre se prontificou para a orientação desta dissertação.

À Universidade Nove de Julho – UNINOVE, principalmente aos professores do GeAS, aos colegas Fernanda J. B. Campos, Juliana Furlaneto, Kelly Oliveira, Veronica Nadruz, Newton Rocha, Richard Boassi, Bárbara Popovits, Jaime Bartholomeu e a todos que me auxiliaram no decorrer do meu mestrado.

À EPT Engenharia, pelo apoio e compreensão indispensável cedendo, sua estrutura de laboratório e espaços físicos para a parte experimental desta pesquisa, e pela presteza e eficiência com que seus técnicos e funcionários sempre dispuseram a colaborar e principalmente ao Engº Gilberto Giuzio.

À Empresa Engemix, que prontamente cedeu os materiais que foram utilizados para o desenvolvimento dos ensaios de laboratório.

À Empresa MC-Bauchemie, por ceder os aditivos utilizados no estudo.

À ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland, que por meio do Engº Rubens Curti que possibilitou uma parte experimental da pesquisa.

À ABIPET e a empresa REPET que cederam todo o PET em flocos para o desenvolvimento da pesquisa

A dois colegas e amigos em especial, Paulo Aquino e Kleber Veiga, pela pronta disponibilidade, em me auxiliar e a paciência demonstrada ao longo desta minha jornada.

Aos meus amigos que sempre me apoiaram e me incentivaram a continuar nesta etapa da minha vida, lembrando da importância para o meu desenvolvimento pessoal e profissional.

“A tarefa não é tanto ver aquilo que ninguém viu, mas pensar o que ninguém ainda pensou sobre aquilo que todo mundo vê”

Arthur Schopenhauer (1778-1860)

RESUMO

O setor da construção é responsável por consumir uma grande parte dos recursos naturais não renováveis e de gerar impactos ambientais significativos, mostrando a necessidade de ações que possibilitem novas práticas construtivas alternativas que mitiguem os danos ao meio ambiente causados por este setor. Diante deste panorama a inovação tecnológica faz-se necessária para o alcance dos objetivos pretendidos, o estudo de novas tecnologias utilizando resíduos dos mais diferentes segmentos da indústria e reinserindo-os em novos produtos, além de atender a necessidade da gestão ambiental mitigando os impactos gerados, contribui para o desenvolvimento de um segmento de construção sustentável. Desta feita, este trabalho teve o objetivo de propor um material alternativo sob a forma de um bloco de concreto para pavimento intertravado, manufaturado com parte de seus agregados naturais substituídos por resíduo de PET. Para a utilização deste material na construção civil é necessário o atendimento aos parâmetros técnicos exigidos na NBR 9781:2013 “Peças de concreto para pavimentação”. Dentre os parâmetros exigidos, está a resistência característica do bloco que deve ser maior ou igual a 35 MPa. Para a obtenção desta característica foram realizados estudos de dosagem que contemplaram a execução total de 14 traços de concreto divididos em 2 grupos, no qual um deles foi composto por traços sem o resíduo de PET e o outro grupo com resíduos de PET que substituíram parte do agregado natural em porcentagens que variaram entre 10% e 60%. O bloco de concreto com resíduo de PET atingiu o valor de 40,5 MPa com 33,8% de teor de PET demonstrando sua viabilidade técnica. Na sequência foi realizado uma comparação entre as estimativas de custo de produção entre o material convencional e o com PET. O concreto com PET se mostrou mais oneroso para regiões com abundância de agregados naturais, entretanto tornou-se alternativo nas localidades onde existe escassez destes materiais. E por fim foi demonstrado que a utilização do concreto com PET poderia deixar de consumir o total de 608 kg de agregados naturais por metro cúbico de concreto e ter reciclado 72,2 kg de resíduo de PET ou 1.588 garrafas PET por metro cúbico de concreto. Esta troca de materiais permitiu auxiliar na mitigação dos impactos ambientais causados pela construção civil e sugeriu uma nova alternativa de reciclagem do resíduo de PET.

Palavras-chave: Construção civil, resíduos, PET, inovação tecnológica e sustentabilidade.

ABSTRACT

The construction sector is responsible for consuming a large portion of non-renewable natural resources and generate significant environmental impacts, showing the need for actions that enable new constructive practical alternatives to mitigate damage to the environment caused by this sector. Faced with this panorama, technological innovation is necessary to achieve the intended objectives, the study of new technologies using the most different segments of industry waste and reinserting them into new products, and meet the need of environmental management mitigating the impacts generated. It contributes to the development of a sustainable building segment. This time, this work aimed to propose an alternative material in the form of a concrete block interlocked floor, manufactured with part of their natural aggregates replaced by PET waste. To use this material in construction is necessary to meet the technical parameters required by NBR 9781: 2013 "Concrete paving pices". Among the parameters required is the block characteristic resistance, which must be greater than or equal to 35 MPa. To obtain this, studies of dosage were conducted contemplating the running 14 concrete mixtures divided into two groups, in which one was compound without PET waste and the other group containing PET waste, which have replaced part of the natural aggregate in percentages ranging between 10% and 60%. The concrete block with PET waste reached to 40,5 MPa with 33,8% of PET content demonstrating its technical feasibility. Following was carried out a comparison between the estimates of production costs between conventional material and with PET, which proved more costly for regions with abundant natural aggregates, however became alternative in places where there is a shortage of these materials. Finally, it was shown that the use of concrete with PET could fail to consume the total of 608 kg of natural aggregates per cubic meter of concrete and have recycled 72.2 kg of PET waste or 1,588 PET bottles per cubic meter of concrete. This exchange of materials allowed assist in the mitigation of environmental impacts caused by the construction and suggested a new alternative recycling of PET waste.

Keywords: Construction, waste, PET, technological innovation and sustainability.

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABIPET	Associação Brasileira da Indústria do PET
ABRELPE	Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACI	American Concrete Institute
CBIC	Câmara Brasileira da Indústria da Construção
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
NBR	Norma Brasileira
PET	Politereftalato de Etileno
PIB	Produto Interno Bruto
PNRS	Política Nacional do Resíduo Sólido
RCC	Resíduo de Construção Civil
RCD	Resíduo de Construção e Demolição
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
SINDUSCON - SP	Sindicato da Indústria da Construção Civil do Estado de São Paulo

LISTA DE SÍMBOLOS E UNIDADES

a/c-	Relação água-cimento
cm-	Centímetro
cm ² /g-	relação centímetro quadrado por grama
CP V-ARI-	Cimento <i>Portland</i> de alta resistência inicial
D-	Diâmetro
DRM	Desvio relativo máximo
h-	Hora
H-	Altura
°C-	Graus Celsius
cm	centímetro
f _{ck} -	Resistência característica à compressão do concreto
f _{cj} -	Resistência característica à compressão do concreto aos j dias de idade
f _{c28} -	Resistência característica à compressão do concreto aos 28 dias de idade
f _{pk} -	Resistência característica à compressão das peças intertravadas
f _{pk28} -	Resistência característica à compressão das peças intertravado aos 28 dias de idade
g-	Grama
Kg-	Quilograma
Kg / hab.dia-	Relação quilograma por habitante e dia
Kg / m ³ -	Relação quilograma por metro cúbico
KN / m ³ -	Relação quilo newton por metro cúbico
l	litro
m/s	Relação metro por segundo
m ³	metro cúbico
m ²	metro quadrado
mm	milímetro
MPa	Mega Pascal
R\$	Reais
Sd	Desvio padrão de dosagem

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1- Participação do PIB Construção e PIB Indústria dentro do PIB Nacional ao longo dos anos	26
Figura 2- Taxa de crescimento real da construção civil ao longo dos anos	27
Figura 3 - Hierarquia da gestão dos resíduos	36
Figura 4 – Evolução da taxa de reciclagem do PET no Brasil	39
Figura 5 – Localização da central de produção de concreto que cedeu as amostras dos materiais utilizados no estudo	51
Figura 6 – Vista interna da área destinada ao armazenamento de brita 1	52
Figura 7 – Vista interna da área de armazenamento da areia natural fina.....	52
Figura 8 – Vista interna da central de produção de concreto.	53
Figura 9 – Amostras de cimento Portland CP V-ARI	54
Figura 10 - Amostra do resíduo de PET utilizado nos ensaios.....	55
Figura 11- Amostras de aditivos utilizados nas dosagens	55
Figura 12 – Amostra de cimento utilizado nos ensaios	57
Figura 13 - Amostra dos agregados utilizados nos ensaios: a areia rosa natural de rio, a brita 1 de pedreira e a areia de rocha (britada).....	58
Figura 14 – Amostra do resíduo de PET no formato de flocos utilizado nos ensaios.....	59
Figura 15 – Sequência das etapas do Método de dosagem da ABCP / ACI	64
Figura 16 – Ensaio de determinação da consistência do concreto	69
Figura 17- Vista da parte superior do bloco de concreto.....	70
Figura 18- Elevação do bloco de concreto	70
Figura 19 - Vista interna da câmara úmida.....	71
Figura 20 – Blocos logo após a moldagem em estado fresco.....	73
Figura 21 - Blocos em estado endurecido já desenformados	73
Figura 22 – Ilustração da metodologia para definição dos traços ideais	75
Figura 23 - Corpos de prova moldados com os traços definitivos de concreto com PET e sem PET	76

Figura 24 – Curva granulométrica dos agregados naturais	80
Figura 25 – Curva de distribuição granulométrica do PET utilizado	82
Figura 26 – Ensaio de abatimento no concreto fresco e blocos de concreto endurecido	85
Figura 27 - Grupo 1: Gráfico de resistência à compressão por teor de PET	88
Figura 28 - Grupo 2: gráfico de resistência à compressão por relação água-cimento.....	89
Figura 29 – Comparativo entre as consistências do traço 12 e 13.....	91
Figura 30 – Ensaio de resistência à compressão em andamento	93
Figura 31 – Bloco de concreto com resíduo de PET.	93
Figura 32 – Comparativo das resistências médias aos 7 e 28 dias do concreto dosado com PET e sem PET	94

INDICE DE TABELAS

Tabela 1-Composição do RSU coletado no Brasil no ano 2012	37
Tabela 2 - Diferentes tipos e procedências de resíduos sólidos e sua reciclagem e utilização nos materiais de construção.....	44
Tabela 3 - Ficha técnica dos aditivos superplastificante MC-PowerFlow 1180 e do aditivo plastificante Muraplast 840.	60
Tabela 4 – Requisitos da NBR 9781:2013 para aceitação da amostra de bloco de concreto para pavimento	63
Tabela 5 – Traço em peso e em volume dos concretos dosados com resíduo de PET.....	67
Tabela 6 – Traço em peso e volume dos concretos dosados sem adição de PET	68
Tabela 7 – Quantidade de corpos de prova para cada idade.....	72
Tabela 8 – Quantidade de corpos de prova para cada idade e ensaio.....	75
Tabela 9 – Ensaio físico na amostra de cimento	79
Tabela 10 – Ensaio de caracterização dos agregados	80
Tabela 11 – Ensaio físico nos agregados naturais	81
Tabela 12 – Caracterização do PET	82
Tabela 13 - Traço padrão e traços com PET	84
Tabela 14 – Traços dosados sem PET	86
Tabela 15 – Resultados dos ensaios de resistência a compressão dos Traços 1 (padrão) e Traços 2 ao 7 com substituição do PET	87
Tabela 16 - Resultados dos ensaios de resistência a compressão dos Traços 8 ao 11 sem substituição do PET.....	88
Tabela 17 - Traços definitivos 12 e 13 em peso	90
Tabela 18 – Resultados de resistência à compressão dos Traços 12 e 13	92
Tabela 19 – Resultados dos ensaios de absorção de água nos blocos de concreto.....	95
Tabela 20 – Avaliação dos resultados obtidos de acordo com a NBR 9781:2013.....	96
Tabela 21 – Estimativa de custo dos insumos para a produção do bloco de concreto	97
Tabela 22 – Quantidades de materiais preservados no meio.....	98

INDICE DE QUADROS

Quadro 1– Resistência característica à compressão	61
Quadro 2 – Coeficiente de Student.....	62

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	VI
RESUMO	IX
ABSTRACT	X
LISTA DE SÍMBOLOS E UNIDADES	XII
INDICE DE FIGURAS	XIII
INDICE DE TABELAS	XV
INDICE DE QUADROS	XVI
SUMÁRIO.....	XVII
1. INTRODUÇÃO	20
1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	20
1.2 OBJETIVO	23
1.2.1 OBJETIVO GERAL.....	23
1.2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO	23
1.3 ESTRUTURA DA PESQUISA	24
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	26
2.1 A IMPORTÂNCIA ECONÔMICA DA CONSTRUÇÃO CIVIL E OS IMPACTOS AMBIENTAIS CAUSADOS	26
2.2 GERAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS.....	32
2.2.1 O PET (POLITEREFTALATO DE ETILENO) NA MASSA DE RESÍDUO SÓLIDO URBANO (RSU)	38
2.2.2 A UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL COMO INOVAÇÃO TECNOLÓGICA EM SUSTENTABILIDADE	41
3. MATERIAIS E MÉTODOS	49

3.1	COLETA, CARACTERIZAÇÃO E EXECUÇÃO DOS ENSAIOS LABORATORIAIS	49
3.1.1	COLETA DAS AMOSTRAS	50
3.1.2	ENSAIOS LABORATORIAIS PARA CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS	56
3.2	ESTUDOS DE DOSAGEM, MOLDAGEM DE CORPOS DE PROVA E ENSAIOS FÍSICOS	60
3.2.1	ESTUDOS DE DOSAGEM	60
3.2.2	MOLDAGEM E ARMAZENAMENTO DOS CORPOS DE PROVA PARA O ESTUDO DO MELHOR TRAÇO	69
3.2.3	ENSAIO DE RESISTÊNCIA CARACTERÍSTICA À COMPRESSÃO DOS BLOCOS DE CONCRETO	74
3.3	CONFECÇÃO DO BLOCO INTERTRAVADO DEFINITIVO E VIABILIDADE TÉCNICA.....	74
3.4	ESTUDO DO CUSTO DE PRODUÇÃO DOS BLOCO COM PET E DO BLOCO CONVENCIONAL, COMPARATIVO DOS VOLUMES DE SUBSTITUIÇÃO DE AGREGADOS E INSERÇÃO DOS VALORES OBTIDOS NO CONTEXTO AMBIENTAL	76
4.	APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÕES DOS RESULTADOS	78
4.1	ENSAIOS DE LABORATÓRIOS	78
4.1.1	CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS	78
4.1.1.1	AMOSTRA DE CIMENTO	78
4.1.1.2	AMOSTRA DO AGREGADO GRAÚDO E MIÚDO	79
4.1.1.3	AMOSTRA DE PET	81
4.1.2	RESULTADO DO ESTUDO DE DOSAGEM	83

4.1.3	RESULTADO DOS ENSAIOS DE COMPRESSÃO DOS TRAÇOS ESTUDADOS.	87
4.2	BLOCOS DEFINITIVOS DE CONCRETO PARA PAVIMENTO INTERTRAVADO E VERIFICAÇÃO DA VIABILIDADE TÉCNICA	90
4.2.1	RESULTADOS DOS ENSAIOS DE RESISTÊNCIA CARACTERÍSTICA À COMPRESSÃO DOS BLOCOS MANUFATURADOS COM OS TRAÇOS DEFINITIVOS DOS CONCRETOS	91
4.2.2	RESULTADOS DOS ENSAIOS DE ABSORÇÃO DOS BLOCOS MOLDADOS COM.....	94
4.2.3	OS TRAÇOS DEFINITIVOS DOS CONCRETOS	94
4.3	ANÁLISE TÉCNICA DOS RESULTADOS.....	95
4.4	ESTIMATIVA DOS CUSTOS DE PRODUÇÃO DOS BLOCOS DE CONCRETO	96
4.5	POTENCIAL DE SUBSTITUIÇÃO DE AGREGADOS NATURAIS EM RELAÇÃO AO PET	97
5.	CONCLUSÕES E SUGESTÕES.....	100
6.	REFERÊNCIAS	104

1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo são abordadas as considerações iniciais, objetivos e estrutura do trabalho.

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A construção civil consiste em uma das atividades industriais mais fortemente relacionadas com o desenvolvimento e o crescimento de um país. De acordo com dados da Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC, 2014), o Produto Interno Bruto (PIB) da construção civil apresentou crescimento no ano de 2010 de 11,6%, um valor superior ao crescimento do PIB brasileiro que se manteve em 7,5%. Apesar do PIB da construção civil ter sofrido uma queda nos anos de 2011 e 2012 ele continuou mantendo-se acima do PIB brasileiro, e apenas no ano de 2013 a taxa de crescimento da construção civil ficou abaixo do crescimento brasileiro fechando no patamar de 1,6%, acompanhando o baixo crescimento do país.

Segundo o Sindicato da Indústria da Construção Civil (SINDUSCON, 2014), para o primeiro trimestre do ano de 2013, o PIB da construção registrou queda de 2,3% na comparação com o trimestre imediatamente anterior, já desconsiderando os efeitos sazonais. Foi a terceira queda seguida nessa comparação, que em relação a este mesmo período do ano de 2013 em relação ao de 2012 sofreu uma retração, de 0,9%. O PIB da construção, assim como o da economia passaram por reajustes e a construção terminou encerrando o ano de 2013 com uma queda de 1,9% para 1,6% no seu valor (Brasil, 2014).

Na contrapartida, no início do ano de 2014, as vendas de materiais de construção no varejo registraram um aumento no mês de fevereiro, com relação ao mês de janeiro do mesmo ano, de 2,2%. Comparando com o mês de fevereiro de 2013, as vendas aumentaram 16,6%. Com esse resultado, o volume de vendas do segmento acumula variação positiva de 10,1% no ano de 2013, índice superior às vendas acumuladas no comércio restrito (7,4%) e ampliado (6,5%). No acumulado dos 12 meses, o segmento da construção civil cresceu 7,3%. (SINDUSCON, 2014)

Apesar do setor da construção ter apresentado um baixo crescimento do seu PIB anual nos anos de 2012 e 2013, mostrando uma desaceleração do segmento, este setor continua sendo o responsável por consumir uma grande parte dos recursos naturais disponíveis e de gerar impactos ambientais significativos, o que demonstra a necessidade de ações que possibilitem a criação de novas alternativas nas práticas construtivas que mitiguem estes danos ao meio ambiente (Pereira, de Medeiros, & Levy, 2012).

Os impactos ambientais da construção civil, além de atingirem o meio ambiente natural e social, modificam paisagem, causam poluição sonora dentre outros. Este impacto negativo se inicia na exploração contínua e o no esgotamento dos recursos não renováveis que são utilizados como matéria prima e prosseguem até a emissão de gases e partículas em suspensão que são gerados e liberados para a atmosfera durante o processo de fabricação dos materiais de construção, influenciando na saúde humana e seu meio de vida (Safiuddin, Jumaat, Salam, Islam, & Hashim, 2010; Paschoalin Filho & Graudenz, 2012).

Entretanto, mesmo o setor da construção civil, consistindo em um segmento industrial que impacta significativamente o meio ambiente, este ramo também se destaca no desenvolvimento de ferramentas de gestão ambiental e também em formas de inserção da variável ambiental em suas atividades, dentre estas estão as ferramentas de gestão, sistemas de “*lean construction*”, reciclagem, inovações tecnológicas, gestão de resíduos entre outros. Segundo Ar (2012), estas Inovações Tecnológicas se mostram necessárias para a diminuição da geração de resíduos provenientes da construção civil e da indústria, além de destiná-los corretamente fazendo com que soluções tecnológicas representem um papel importante para a sustentabilidade.

Foram desenvolvidos em diversos segmentos vários trabalhos na área de inovação tecnológica relacionados aos materiais de construção civil. Como exemplos podem-se citar: o estudo de concretos utilizando a adição de resíduos de borrachas de pneus e de casca de arroz, como forma de mitigar a destinação destes resíduos (Barbosa, Pereira, Akasaki, Fioriti, Fazzan, & Melges, 2013). No estudo da fabricação de tijolos, Rodrigues & Holanda (2013), estudaram a adição de lodo de estações de tratamento de água. No desenvolvimento do cimento, Savastano (2011), estudou a incorporação de fibra vegetal para a fabricação de diversos materiais. No concreto, Saikia e de Brito (2014), estudaram a inserção do resíduo de PET entre outros.

Segundo Safiuddin *et al.* (2010), a reinserção dos resíduos na cadeia produtiva da construção além de conservar os recursos naturais, auxilia na diminuição dos custos dos materiais de construção. Estes altos custos são gerados pela alta demanda desses produtos, pelo grande consumo de matéria prima e pelo alto preço da energia necessária à sua produção. A prática da reciclagem auxilia na redução dos custos de transporte, no alívio nos aterros além de contribuir para a criação de uma nova cadeia produtiva.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) do Brasil, instituída pela Lei nº 13.205 de 2010, dá as diretrizes de gestão integrada e de gerenciamento ambiental adequado dos resíduos sólidos, bem como as responsabilidades dos geradores, do poder público e dos instrumentos econômicos aplicáveis. Como um dos princípios da PNRS, o Art. 6º item 6 descreve a importância do resíduo sólido adequadamente descartado.

No contexto da construção civil, a inovação tecnológica tornou-se uma ferramenta importante para a inserção da variável ambiental neste setor, pois além de auxiliar nas práticas do gerenciamento ambiental, também auxilia na minimização do impacto ambiental, criando métodos para atender as certificações ambientais das edificações e as diretrizes da gestão de resíduos de construção e demolição (RCC) descritas pelo Conselho do Meio Ambiente (CONAMA, 2012), que atribui responsabilidades, critérios e procedimentos para a gestão destes resíduos.

Verifica-se também a necessidade de novas soluções na geração dos resíduos sólidos urbanos (RSU) dado o aumento desses volumes em função do incremento da renda e do consequente consumo acelerado de bens. Parte do RSU e demais resíduos sólidos gerados pela indústria vêm sendo reutilizados e reinseridos na cadeia produtiva na forma de matéria prima ou de outros produtos, como uma alternativa de mitigar seus efeitos nocivos ao meio ambiente. Segundo Ar (2012) o desenvolvimento de técnicas de reciclagem tem surgido como uma forma para destinar e inserir parte desses resíduos nas aplicações da construção civil.

Dentre os resíduos sólidos urbanos comumente gerados destacam-se aqueles provenientes de embalagem PET (Politereftalato de Etileno), segundo a Associação Brasileira da Indústria do PET (ABIPET, 2013) a quantidade de embalagens de PET coletada ao longo do ano de 2012 no Brasil foi de 331.000 toneladas e toda esta quantidade foi reciclada. Este PET que foi destinado corretamente, coletado e reciclado no ano de 2012 correspondeu a

58,9% do PET produzido no país, os outros 41,1% foram descartados inadequadamente em aterros irregulares, lixões ou simplesmente jogados no meio ambiente.

Dentro deste contexto, esta pesquisa propõe o desenvolvimento de um material de construção sob forma de um bloco de pavimento intertravado, composto por um concreto dosado com parte de seus agregados substituídos por resíduos de PET em flocos e inserção de aditivos. Desta maneira, esta pesquisa propõe a utilização de um material cujo objetivo principal consiste em aliviar a extração de agregados naturais em jazidas e ao mesmo tempo, dar uma destinação alternativa aos resíduos de PET.

Para a avaliação técnica do material, foi conduzido um programa de ensaios laboratoriais no intuito de se verificar se o material proposto atende as normas específicas vigentes. Em seguida foi realizada uma avaliação econômica, com o objetivo de se verificar a viabilidade de produção deste bloco em relação a um material convencional bem como avaliar suas possíveis vantagens ambientais.

1.2 OBJETIVO

Esta pesquisa possui os seguintes objetivos.

1.2.1 Objetivo Geral

Este estudo tem como objetivo geral o desenvolvimento de uma inovação tecnológica sustentável de forma a proporcionar a redução do impacto da construção civil, pela diminuição da necessidade de matéria prima natural.

1.2.2 Objetivo Específico

Esta pesquisa possui também os seguintes objetivos específicos.

- Elaborar uma revisão bibliográfica a respeito do assunto materiais alternativos na construção, conceitos de inovação tecnológica, reciclagem.
- Propor uma destinação alternativa simples para os resíduos de PET.
- Desenvolvimento do estudo de dosagem do concreto contendo parte de agregado natural e parte de resíduo de PET em flocos visando atingir as características de plasticidade e de consistência ideais para a confecção de amostras de corpos de prova para serem submetidos a ensaios físicos de resistência à compressão. Este concreto deve possibilitar a confecção de blocos intertravados de concreto em formas plásticas sem a necessidade de utilizar vibroprensas facilitando a produção por qualquer interessado.
- Desenvolver um bloco de pavimento intertravado a partir de um concreto obtido com resíduo de PET em flocos.
- Avaliação dos blocos fabricados nos diferentes estudos de dosagens do concreto, por meio de ensaios laboratoriais, de maneira a se verificar se suas propriedades físicas são satisfatórias às normas técnicas pertinentes para serem utilizadas como bloco intertravado de pavimento.
- Elaboração de uma estimativa de custos de produção do bloco com PET e do bloco convencional.
- Contribuir com o meio técnico propondo e avaliando um material que terá por objetivo uma inovação tecnológica que auxilie na redução do impacto ambiental na construção civil.

1.3 ESTRUTURA DA PESQUISA

No primeiro capítulo foi feita uma introdução à pesquisa, destacando a importância do tema. Na sequência são descritos o objetivo geral e específicos além da estrutura da pesquisa.

No capítulo dois é apresentada a revisão bibliográfica, mostrando o levantamento de dados sobre a importância econômica da construção civil e os impactos ambientais causados e descreve ainda sobre a geração de resíduos sólidos urbanos, e o PET na massa do resíduo sólido urbano. Aborda também a utilização de resíduos na construção civil como uma inovação tecnológica em sustentabilidade.

No capítulo três são definidas a metodologia, os ensaios e procedimentos para a confecção e avaliação técnica do material estudado

No capítulo quatro são apresentadas as análises e discussões dos resultados obtidos nas análises experimentais. A verificação da viabilidade técnica. A estimativa de custos de produção dos blocos com PET e convencional. A discussão dos possíveis ganhos ambientais.

O capítulo cinco apresenta as considerações finais e conclusões referentes à pesquisa, assim como sugestões para o prosseguimento dos estudos nesta linha de pesquisa.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo é abordada a revisão da literatura da pesquisa.

2.1 A IMPORTÂNCIA ECONÔMICA DA CONSTRUÇÃO CIVIL E OS IMPACTOS AMBIENTAIS CAUSADOS

Segundo estudos divulgados pela Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC, 2014) com dados baseados em relatórios publicados no Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) no ano de 2014, o segmento industrial é dividido em quatro atividades: extração mineral, transformação, construção civil e eletricidade. Estas atividades juntas representam em torno de 20% do produto interno bruto nacional (PIB), sendo que dentro deste valor total, o setor da construção civil se destaca representando valores próximo a 5,5 % (CBIC, 2014). A Figura 1 mostra a relação entre os setores da indústria e da construção dentro do PIB nacional entre os anos de 2007 e 2013.

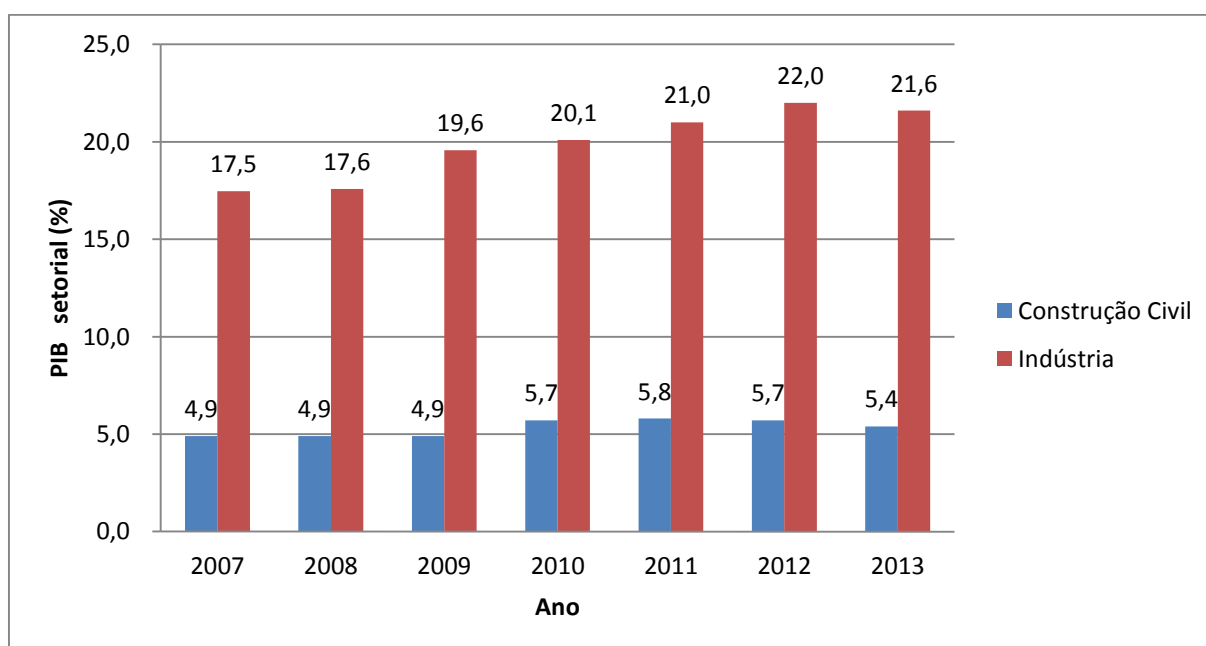


Figura 1- Participação do PIB Construção e PIB Indústria dentro do PIB Nacional ao longo dos anos

Fonte: Elaborado pelo autor dados fornecidos pelo CBIC (2014) baseado em dados do IBGE (2014).

O cenário da construção civil vem mostrando uma evolução de crescimento entre os anos de 2007 e 2008 e também entre os anos de 2009 e 2010, justificada por vários fatores positivos, dentre eles pode-se citar, a maior oferta de crédito imobiliário, aumento no investimento destinado às obras de infraestruturas, o crescimento do emprego e da renda familiar e, como consequência, um aumento do poder aquisitivo das famílias, além da desoneração do imposto sobre Produtos Industrializados (IPI) de produtos da construção (PAIC, 2011; CONSTRUBUSINESS, 2012). A Figura 2 mostra a evolução da indústria da construção entre os anos de 2007 e 2013.

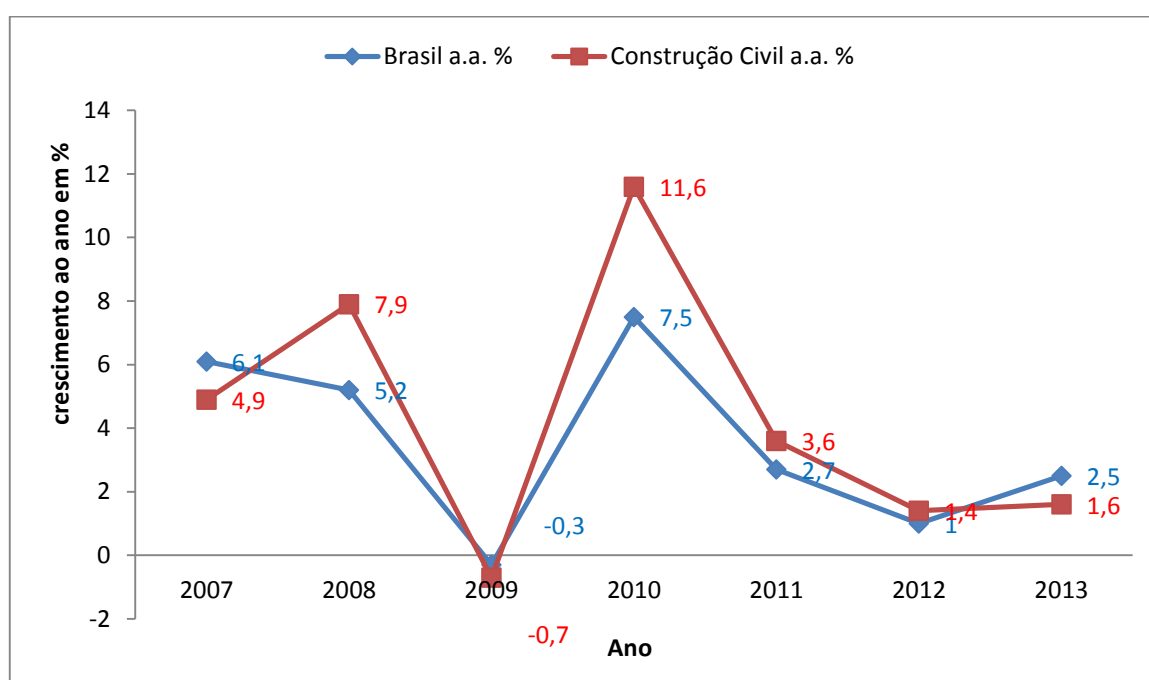


Figura 2- Taxa de crescimento real da construção civil ao longo dos anos

Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos dados CBIC (2014) e baseado em dados do IBGE (2014)

O gráfico representado na Figura 2 que apresenta uma comparação entre as taxas de crescimento real da Construção Civil brasileira e o crescimento do Brasil entre os anos de 2007 e 2013. Comparando as duas taxas de crescimento verifica-se que os valores do PIB da construção mostram-se acima do PIB brasileiro nos anos de 2008, 2010, 2011, 2012 demonstrando que este segmento é um setor importante e que responde às variações econômicas. Apesar do PIB da construção ter sofrido uma queda nos anos subsequentes ao ano de 2010 este se mostrou proporcional à taxa de crescimento do país (SINDUSCON, 2014).

O PIB da Construção mostrou um crescimento entre os anos de 2007 e 2008 e uma queda no ano de 2009 que pode ser explicada pela eclosão da crise mundial no final do ano de 2008, sentido no setor da construção devido as restrições de crédito imobiliário praticadas na época. Ao final do ano de 2009, houve o início do processo de recuperação da economia mundial com o fomento do governo brasileiro a programas de desoneração tributária de alguns materiais de construção, a expansão do crédito para habitação como o Programa Minha Casa, Minha Vida, e o aumento de recursos para o Programa de Aceleração do Crescimento (PAC) (BNDES,2010).

A importância econômica, do setor da construção civil no Brasil, é notada quando percebe-se que ela acompanha o crescimento do país que de acordo com os dados da Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC, 2014), verifica-se que apesar da diminuição do PIB da construção no ano de 2011, que foi de 8% em relação ao PIB da construção do ano de 2010 e, no ano de 2012 que diminui 2,2% em relação ao do ano anterior, e no ano de 2013 mostrou uma pequena recuperação de 0,2% em relação ao ano de 2012, fechando em 3,1% abaixo do PIB do Brasil.

A importância da indústria da construção no desenvolvimento de um país não é restrita à economia brasileira, é também reconhecida mundialmente. Para haver o crescimento e a expansão da economia é necessário que seja executada a construção de infraestruturas adequadas. Um ponto de relevância neste mercado é a agilidade no comportamento deste segmento dentro da economia mundial, pois ele é o responsável pela geração de uma grande parcela de empregos, pelo desenvolvimento e pelas mudanças do modo de vida, além da reconhecida importância que exerce dentro de outras atividades do mercado, como o da mineração, da energia, dos transportes entre outros. Na contrapartida estão os impactos negativos gerados por esta atividade que são igualmente proporcionais à importância do segmento da construção para a economia (Ibrahim Roy, Ahmed & Imtiaz, 2010; Rodrigues & Joeques, 2011).

Para Tessaro, de Sá e Scremin (2012), o desenvolvimento da sociedade está diretamente relacionado ao mercado da construção civil, que por sua vez é um grande consumidor de recursos naturais e gerador de resíduos, além de grande responsável pela ocorrência de impactos ambientais. Segundo Angulo, Teixeira, Castro e Nogueira (2011) os impactos ambientais, sociais e econômicos que são gerados pela atividade de construção civil são

refletidos em toda a sociedade, e esta reage, com medidas restritivas e negativas restringindo a atuação do segmento.

Apesar da importância da construção civil para o desenvolvimento do país, os impactos negativos causados pela sua cadeia produtiva são significativos (Paschoalin Filho, Guerner Dias, Cortes & Duarte, 2014). Segundo Paschoalin Filho e Graudenz (2012), estes impactos são responsáveis por promover degradações no meio ambiente que em algumas situações tornam-se irreversíveis. Elas ocorrem tanto na extração de matéria prima não renovável utilizada como insumo na fabricação de materiais para a construção civil, quanto na deposição irregular dos resíduos ocasionados pela atividade. Dentre os impactos citados por Amadei, Pereira, Souza e Meneguetti (2012) e Paschoalin Filho & Graudenz (2012) estão: a extinção das jazidas naturais não renováveis, mudança da paisagem, erosão do solo, desmatamento desordenado, emissão de gases poluentes na atmosfera e de efluentes e a poluição sonora.

Apesar dos impactos causados na obtenção das matérias primas, a construção civil também é responsável por uma grande quantidade de resíduos gerados durante as fases de construção, reformas, demolição (Amadei *et al.*, 2012). Para Segatini e Wada (2011), o vultoso volume de resíduos gerados nas etapas construtivas demonstra uma grande perda na utilização de materiais não renováveis como a areia, brita, cimento, madeira. Este fato é comprovado por Silva & Fernandes (2012 *apud* Careli, 2008) que apontam que 50% dos recursos naturais existentes são utilizados na construção civil.

Diversos trabalhos versam sobre os impactos ambientais causados pela indústria da construção, desde a extração da matéria prima, passando pela utilização dos materiais de construção até a disposição final dos seus resíduos gerados. Dentre os trabalhos pode-se citar Araújo e Günter (2007) que descrevem a importância da utilização de caçambas coletoras, para acondicionar os resíduos de construção e demolição gerados, como uma maneira de diminuir a poluição ambiental e evitar a degradação de áreas evitando-se contaminações do solo e do meio ambiente, na proteção à saúde coletiva no meio urbano.

Ainda dentro do mesmo conceito, Motta e Aguilar (2009), defendem a sustentabilidade na construção civil por ser o segmento que mais impacta o meio ambiente, sendo este vital para o desenvolvimento sustentável de uma nação. O consumo excessivo de recursos naturais e a consequente geração excessiva de resíduos provém da necessidade crescente que a população possui de se estabelecer ou de buscar melhorias em seu padrão ou modo de vida.

Como contrapartida, surge o impacto ambiental, que a indústria da construção gera com o esgotamento da matéria prima não renovável, a ampliação das áreas degradadas a poluição ambiental e os danos à saúde coletiva.

Segundo Pegoraro, Saurin e de Paula (2010), existe a premente necessidade da inserção dos valores ambientais na fase de projeto da construção civil. Na mesma linha Baniás, Achillas, Vlachokostas, Moussiopoulou e Papaioannou (2011), complementam citando a necessidade de se utilizar um sistema de gestão de resíduos, tendo-se em vista que nos tempos atuais, os resíduos, provenientes das atividades de construção representam grande parte da maior porcentagem dos resíduos sólidos das áreas urbanas, que além disto, este tipo de resíduo, é composto por materiais perigosos e contaminados, que se dispostos de maneira incontrolada ao longo do tempo, podem gerar a poluição ambiental e altos custos para a recuperação das áreas degradadas.

Segundo Paschoalin Filho, Storopoli e Duarte (2014), a ausência de políticas públicas direcionadas à solução da deposição dos resíduos, aliadas ao consumo excessivo de recursos naturais e ao desperdício dos materiais de construção, resultados durante a execução de obras frente ao desenvolvimento da construção civil, fazem com que este ramo de atividade seja uma das que mais geram resíduos sólidos no Brasil. E que uma grande parcela do resíduo sólido urbano (RSU) é composta por esses rejeitos da construção civil.

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), por meio de sua Resolução CONAMA Nº 01 de 23 de janeiro de 1986, no artigo número 1, definiu que impacto ambiental consiste em:

...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; a qualidade dos recursos ambientais (CONAMA, 1986).

De acordo com Amadei, Pereira, Souza e Meneguetti (2011), a geração de resíduos provenientes do segmento da construção vem crescendo globalmente na mesma proporção que este mercado aumenta a necessidade de consumo de matérias primas para uso na

fabricação de materiais que atendam a demanda de novas obras ou da adequação das existentes. Segundo Marzouk, e Azab (2014), os resíduos de construção e demolição têm gerado problemas cada vez mais graves nas esferas sociais, ambientais e econômicas. A ausência de controle na correta disposição destes resíduos vem prejudicando o meio ambiente, contribuindo para o aumento do consumo de energia, e o esgotamento dos recursos finitos e dos aterros.

Além de ser depositada em áreas irregulares, uma grande parcela do RCC é comumente encontrada junto ao descarte dos resíduos sólidos urbanos (RSU). Este descarte inadequado, além de ocasionar uma degradação da paisagem urbana, obstrução das vias públicas é também o causador de diversos problemas ambientais tais como: enchentes, contaminação do solo e de seus aquíferos, propagação de doenças por animais transmissores (Amadei, Pereira, Souza & Meneguetti, 2011; Paschoalin & Graudenz, 2012).

Como maneira de mitigar estes problemas ambientais, a construção civil, vem investindo na reciclagem dos resíduos de RCC gerados. De acordo com Marzouk e Azab, (2014) a reciclagem de resíduos de construção e demolição leva a reduções significativas nas emissões de gases, no uso de energia, além de economizar espaço em aterros, quando comparada a prática de simples disposição de resíduos nos aterros. Além disso, o custo de mitigação do impacto do descarte é extremamente elevado, e que por este motivo, é mais interessante reciclar o resíduo de construção e demolição, ao invés de simplesmente descartá-lo.

Segundo dados da Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2013), no ano de 2013 foi constatado um aumento de 4,6% na coleta de RCC com relação ao ano de 2012, ou seja, 117 mil toneladas por dia deste tipo de resíduo coletado dos logradouros públicos.

A relevância e o crescimento de estudos sobre os resíduos de construção civil é observado em diversos trabalhos científicos. Diversos autores vêm estudando este assunto, e com isto desenhando um panorama sobre a geração de RCC nas cidades brasileiras. Na região nordeste estudos de, da Silva e Marinho (2012), estimaram uma geração de 100 t/dia e uma taxa *per capita* de 120 kg/hab/ano, no ano de 2012. Na região sul, também no ano de 2012, Tessaro, Sá e Scremin (2012) levantaram a geração de 404 t/dia e taxa *per capita* de

120 kg/hab/ano na cidade de Pelotas no estado do Rio Grande do Sul. Na região sudeste, pesquisa de Costa e Oliveira (2011) citam a quantidade total de RCC de 2278 t/dia e a taxa *per capita* de 920 kg/hab/ano. Na região centro-oeste, Silva, Ferreira, Souza e Silva verificaram a quantidade de RCC de 1.500 t/dia.

A geração *per capita* de resíduos de construção civil varia muito entre países e o tema resíduos da construção civil é considerado de grande relevância. Em estudos como o de Delongui, Pinheiro, da Silva Pereira, Specht, e Cervo (2011) a geração de RCC *per capita* no Brasil estava entre 230 e 760 kg/hab/ano com uma média de 0,51 t/hab/ano. Em um levantamento realizado pela ABRELPE (2014), no Brasil foram coletados durante o ano de 2013, uma quantidade de 11.7000 t/dia. Segundo TAM (2009) no Japão foram coletados 2404 t/dia e na Austrália 44042 t/dia. De acordo com Yuan, Shen, Hao e Lu (2011), nos Estados Unidos foram coletados 458.000 t/dia de RCC.

2.2 GERAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

Antes da revolução industrial, praticamente todo o resíduo gerado pela população era orgânico. Este resíduo era descartado no próprio solo que o reprocessava e reabsorvia e, desta forma, mantinha-se o ciclo biogeoquímico do meio ambiente local. Após o marco da revolução industrial, houve gradativamente uma oferta de novos e diferentes tipos de produtos à população e, como consequência, surgiu a necessidade de destiná-los corretamente. Porém, a velocidade de produção e a oferta destes novos produtos, mostravam-se tão rápidas que o descarte destes tornaram-se um grande problema ao meio ambiente, que começou a sofrer com estas mudanças, e a dar sinais de problemas e de degradações ambientais (Barbieri, 2012).

O aumento da população, em conjunto com a grande urbanização, aliados ao aumento de consumo de bens advindos de novas tecnologias, têm gerado mudanças nos estilos de vida da população, contribuindo para o aumento da geração de resíduos sólidos (Safiuddin, Jumaat, Salam, Islam & Hashim, 2010; Jacobi & Besen, 2011; Gouveia, 2012; Paschoalin Filho & Graudenz, 2012). Esta necessidade de consumo é também responsável pela diversidade e variedade dos resíduos que são produzidos na indústria, na mineração, no uso doméstico e nas

atividades relacionadas à agricultura (Safiuddin, Jumaat, Salam, Islam, & Hashim, 2010; Gouveia, 2012; Paschoalin Filho, Silveira, da Luz, & de Oliveira, 2014).

O desenvolvimento tecnológico, que vem beneficiando a indústria, associado a modernização dos meios de comunicação, fomentam o consumo de bens cada vez mais descartáveis e influenciam de forma significativa a geração de resíduos sólidos urbanos (RSU). Este consumismo, mundialmente cultuado, tem causado sérios problemas ao meio ambiente, levando a redução da disponibilidade de matéria prima natural não renovável e dificuldades no armazenamento e processamento dos resíduos que precisam ser corretamente destinados (Souza, de Paula, & de Souza-Pinto, 2012; Santiago & Dias, 2012; Rezende, Carboni, de Toledo Murgel, Capps, Teixeira...& Almeida Oliveira, 2013).

Os centros urbanos, caracterizados pela grande densidade populacional, sofrem com a falta de áreas adequadas à correta destinação de seus resíduos sólidos. As disposições inadequadas, em vias e locais públicos, nas beiras de rios e córregos, causam impactos socioambientais como: a degradação do solo, o comprometimento dos mananciais, obstrução de veios de água (gerando a intensificação de enchentes), contribuição para a poluição do ar e a disseminação de pragas e doenças nos centros urbanos (Besen, Günther, Rodriguez & Brasil, 2010; Paschoalin Filho & Graudenz, 2012). Aliado aos itens expostos, pode-se acrescentar a piora da problemática dos resíduos sólidos, no que tange às faltas, tanto da aplicação de políticas públicas quanto da gestão adequada de resíduos (Paschoalin Filho & Graudenz, 2012).

A preocupação com a degradação ao meio ambiente e com os problemas sociais, de saúde pública e econômicos relacionados aos resíduos sólidos, levou o governo brasileiro, no ano de 2010, a promulgar a Lei 12.305, intitulada Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS), que instituiu diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento dos resíduos sólidos. Esta lei fundamentou-se em princípios de não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos. (Brasil, 2010).

Conforme a PNRS (Brasil, 2010),

A lei define e classifica os resíduos sólidos: i) quanto à sua origem: resíduos domiciliares, limpeza urbana, resíduos sólidos urbanos; resíduos de

estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços, resíduos dos serviços públicos de saneamento básicos, resíduos industriais, resíduos de serviços de saúde, resíduos da construção civil, resíduos agrossilvopastoris, resíduos de serviços de transportes, resíduos de mineração; ii) quanto à sua periculosidade: resíduos perigosos, resíduos não perigosos.

Dentre as diretrizes expostas da PNRS, um dos itens cita que só deverão ser aterrados os resíduos que não apresentem condições de reciclagem ou recuperação, tornando-se fundamental o papel da coleta seletiva tanto em relação a sua expansão como abrangência (Jacobi & Besen, 2011). Complementando o exposto, Paschoalin Filho, Silveira, Luz e Oliveira (2014) sugerem que para a implementação de ações de reciclagem, é imprescindível que existam programas de coleta seletiva que destinem os resíduos sólidos urbanos para a reciclagem, e que esta seria uma maneira de reduzir a necessidade da extração de matéria prima não renovável, valorando o resíduo e reduzindo o consumo de energia na fabricação de novos materiais.

Segundo o Panorama de Resíduos Sólidos do Brasil, publicado pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE), no ano de 2013 foram geradas 76.387.200 toneladas de RSU contra 73.386.170 toneladas geradas em 2012, representando um crescimento de 4,1% do total de resíduo sólido urbano (RSU). O crescimento foi maior que o populacional, que neste mesmo período foi de 3,7 %. Foi também verificado um aumento da geração de RSU *per capita* de 0,39% neste mesmo período. Nesta mesma publicação demonstrou-se que o total de RSU coletado em relação ao produzido também cresceu nesse mesmo período. No ano de 2012 foram coletadas 66.170.120 toneladas de RSU e no ano de 2013 este número aumentou para 69.064.935 toneladas representando um aumento de em 4,4%. Comparando as diferenças entre o RSU coletado e o produzido no ano de 2013, verifica-se que houve uma diferença de aproximadamente 7,3 milhões de toneladas que não foram coletadas e consequentemente não tiveram a destinação correta (ABRELPE, 2013). É importante destacar que os dados apresentados pela ABRELPE são parâmetros fornecidos pelas empresas associadas, não englobando todo o território do Brasil. Porém segundo Paschoalin Filho, Silveira, Luz e Oliveira (2014), os dados da taxa de geração de RSU no Brasil, divulgados pelo IBGE e os fornecidos pela ABRELPE, são muito parecidos, pois para o ano de 2010 a taxa do IBGE foi de 1,368 kg/hab/dia e a taxa da ABRELPE foi entre 1,223 e 1,096 kg/hab/dia.

Em um comparativo, de acordo com Paschoalin Filho, Silveira, Luz e Oliveira (2014), a taxa *per capita* média de RSU gerado no Brasil está abaixo da taxa gerada pela União Européia e pelos Estados Unidos. Apesar da existência da PNRS desde o ano de 2010, no Brasil a gestão dos resíduos sólidos, mostra-se deficitária quanto á destinação final dos resíduos sólidos coletados. Ressalta-se que no ano de 2013 apenas 58,3% dos RSU foram adequadamente destinados, sendo que os demais, 41,7%, ou seja, aproximadamente 28,8 milhões de toneladas no ano ou 79 mil toneladas diárias foram depositados em vazadouros e áreas inadequadas, gerando impacto ambiental, por estes não possuírem sistemas e ferramentas adequadas e necessárias para a proteção da saúde pública e do meio ambiente (ABRELPE, 2013).

A coleta seletiva dos resíduos sólidos urbanos, definida na Lei Federal nº 12.305/2010 (Brasil, 2010) orienta que esta deve ser realizada após a prévia separação dos resíduos de acordo com sua composição e constituição. O artigo 9º desta lei que define os princípios da hierarquia da gestão de resíduos. Esta hierarquia deve atender da maior à menor prioridade na seguinte ordem : i) não geração; ii) reduzir a geração; iii) reutilizar o resíduo; iv) reciclar; v) tratamento dos resíduos sólidos; vi) disposição final conforme mostrado na Figura 3.



Figura 3 - Hierarquia da gestão dos resíduos

Fonte: Adaptado de Demirbas (2011) e Duarte (2013)

O conceito exposto na Figura 3, e representado pela pirâmide invertida deve ser utilizado na gestão de resíduos sólidos e serve para identificar as etapas estratégicas e definir suas importâncias. De acordo com a hierarquia, a não geração e a redução, encontram-se no topo e são objetivos prioritários e portanto devem ser preferidos, seguidos na sequência, pela reutilização e reciclagem do resíduo em seguida o tratamento e por fim sendo a disposição final a última opção sugerida para a destinação dos resíduos sólidos (PNRS, 2010).

Para a aplicação e escolha adequada dos métodos necessários para reciclagem, reutilização e destinação dos resíduos sólidos é fundamental o conhecimento da composição qualitativa e quantitativa dos materiais que compõe o RSU coletado (Mello, & Amorim, 2009), porém, Godecke, Chaves e Naime (2012), complementam que no Brasil existe a carência de dados da composição qualitativa e quantitativa e, que estes dados precisam ser mais abrangentes ao território brasileiro.

Conforme a ABRELPE (2012) a composição e a quantidade do RSU coletado no Brasil no ano de 2012 encontram-se apresentados na Tabela 1 a seguir.

Tabela 1-Composição do RSU coletado no Brasil no ano 2012

Material	Participação (%)	Quantidade (t/ano)
Metal	2,9	1.640.294
Papel, papelão e <i>tetrapak</i>	13,1	7.409.603
Plástico	13,5	7.635.851
Vidro	2,4	1.357.484
Matéria orgânica	51,4	29.072.794
Outros	16,7	9.445.830

Fonte: Adaptado de ABRELPE 2012

Por meio da Tabela 1, verifica-se que a massa de matéria orgânica corresponde a mais da metade do RSU coletado, ficando também em destaque a quantidade de plástico que aparece ligeiramente acima do material papel, papelão e *tetrapak*, também presentes na composição deste resíduo. Atualmente no Brasil, estão disponíveis apenas os dados relativos às reciclagens mecânicas realizadas por indústrias específicas que reciclam e transformam estes materiais descartados em matéria prima para novos produtos (ABRELPE, 2012). De acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Brasil, 2010), só deverão ser aterrados os resíduos que não apresentem condições de reciclagem ou recuperação, tornando-se fundamental o papel da coleta seletiva tanto em relação a sua expansão como abrangência (Jacobi & Besen, 2011).

De acordo com Lino e Ismail (2012) pode-se criar benefícios ambientais, sociais, econômicos, e de energia aproveitando o RSU gerado para a produção de biogás, adubo orgânico, calor. A reciclagem destes resíduos permite a sua reinserção na produção como matéria prima alternativa, acarretando aumento da vida útil dos aterros, redução do consumo de energia, proteção dos recursos naturais, diminuição das emissões de CO₂, redução no consumo de água e a economia nos gastos públicos para tratamento dos resíduos sólidos.

A economia de energia e a redução das emissões de gases na atmosfera é um dos feitos da utilização da matéria prima reciclada em substituição ao natural. Várias pesquisas apontam

sucesso nesta área e demonstram a viabilidade da reciclagem. A diminuição do consumo de energia é alcançada pela diferença entre a energia consumida no processo de produção com a matéria prima natural e com a do processo utilizado na matéria prima reciclada. Esta economia pode ser alcançada na reciclagem do papel, plástico e metais (Lino & Ismail, 2012; Agostinho, Almeida, Bonilla, Sacomano, & Giannetti, 2013).

O resíduo de PET é responsável por 10 a 20% de todo o RSU coletados, e mesmo quando destinado corretamente em aterros regularizados é inevitável a ocorrência de impactos ambientais como a impermeabilização que ele causa nas camadas em decomposição do aterro, prejudicando a percolação de gases e líquidos, a liberação de gases tóxicos e cancerígenos, o grande volume que este resíduo ocupa nos aterros e além do prejuízo a drenagem urbana, pois seu acúmulo piora a situação de enchentes. A destinação do PET para a reciclagem pode dirimir diversos impactos como os efeitos da sua disposição nos aterros, que além de acarretar melhorias nas áreas ambientais, econômicas e sociais como geração de empregos, a inserção social dos catadores, a diminuição dos problemas ambientais, a economia de recursos naturais, a redução dos custos de manejo, a redução do consumo de energia dentre outros (Shen, Worrell, & Patel, 2010; Coelho, Castro, & Gobbo, 2011 ; Hamad, Kaseem, & Deri, 2013; Welle, 2013).

2.2.1 O PET (politereftalato de etileno) na massa de resíduo sólido urbano (RSU)

Parte das garrafas de vidro foi gradativamente substituída por embalagens de resina de politereftalato de etileno (PET), e o vidro que antes era reutilizável por diversas vezes foi perdendo espaço para o novo material, que apesar de inúmeras qualidades, necessita de uma destinação pós-consumo adequada, além do desenvolvimento de tecnologias para a sua reciclagem e o seu reuso (Modro, N., Modro, N., Modro, N., & Oliveira, A. 2009; Welle, 2011).

Na composição do RSU coletado, uma grande parcela é atribuída aos plásticos e dentre eles está o PET (ABRELPE, 2012). Segundo a Associação Brasileira da Indústria do PET (ABIPET, 2013) constatou-se que existe uma evolução ano após ano da taxa de reciclagem do

PET coletado. No ano de 2012 este índice atingiu 58,9% conforme indicado na Figura 5 a seguir.

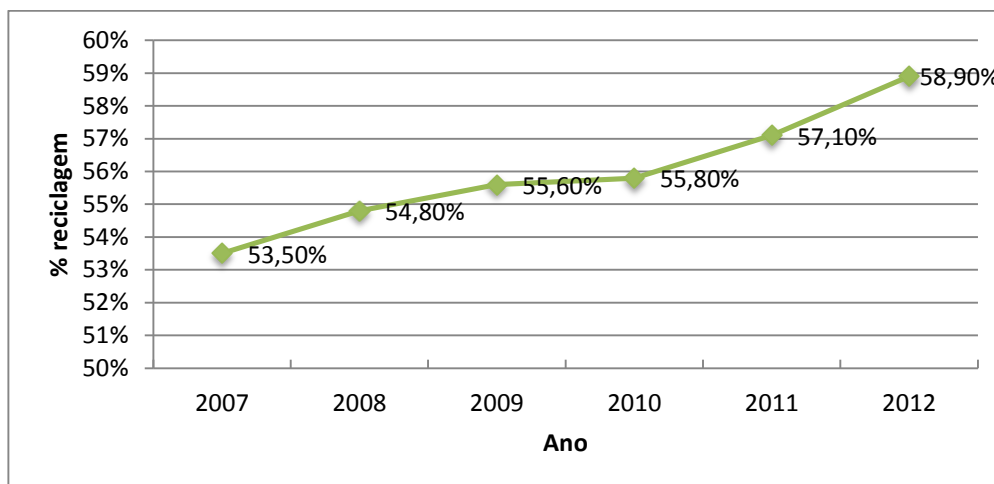


Figura 4 – Evolução da taxa de reciclagem do PET no Brasil

Fonte: Autor com dados retirados da ABIPET, 2013

Conforme demonstrado na Figura 4 existe uma tendência de crescimento da taxa de reciclagem do PET no Brasil entre os anos de 2007 e 2012, porém estes valores permanecem longe do ideal, pois em 2012 foram reciclados 58,9% do PET produzido pela indústria, logo os demais 41,1% foram destinados em aterros ou simplesmente descartados no meio ambiente de forma irregular. A reciclagem do PET gera vantagens ambientais, econômicas e sociais, diminuindo o consumo de matéria prima natural não renovável e a deposição em aterros, reduzindo o valor dos produtos finais que utilizam o material reciclado em sua composição e agregam um valor econômico ao resíduo gerando uma cadeia de trabalho formado por catadores, cooperativas e outros que fazem a coleta, a triagem e o transporte do material (Frigione, 2010; Coelho, Castro, & Gobbo, 2011).

Os números levantados pela ABIPET (2013) mostram uma evolução com crescimento gradativa ao longo dos anos, do volume do resíduo de PET coletado, subindo de 294.000 toneladas no ano de 2011 para 331.000 toneladas no ano 2012, mostrando um crescimento de aproximadamente 1,8%.

O aumento da utilização de embalagens manufaturadas com PET causou uma problemática aos resíduos sólidos, pois o PET coletado e depositado em aterros pode levar

muito tempo para se decompor (Silva *et al.*, 2005; Modro *et al.*, 2009), reduzindo com isto a capacidade física do aterro devido ao grande volume que ocupam. Este material depositado deixa a área impermeável provocando dificuldade na liberação de gases e de líquidos provenientes da decomposição da matéria orgânica, dificulta a drenagem urbana e consequentemente os riscos de enchentes (Modro *et al.*, 2009; Hamad, Kaseem, & Deri, 2013.).

Para dirimir os impactos ambientais que o PET causa ao meio ambiente, Frigione (2010) sugere que este material seja reciclado, com os benefícios não se restringindo a esfera ambiental, mas também às esferas econômica e social. O autor explica que, o benefício social é alcançado com o desenvolvimento de uma cadeia produtiva que destine o resíduo coletado para a reciclagem e que a reciclagem promove um ganho na diminuição do consumo de energia, pois o processo de reciclagem utiliza em média 30% da energia que seria necessária ao processamento da resina virgem, com a vantagem que este processo não altera as propriedades do produto final.

Os impactos que os resíduos de PET causam ao meio ambiente e a sociedade são inúmeros e por esta razão, a correta destinação é essencial, e para tanto mostra-se essencial desenvolver estudos que propiciem soluções e alternativas para a reciclagem dos resíduos de PET. Uma das sugestões encontradas é utilizá-lo em outros segmentos como, por exemplo, o da construção civil que possui uma grande diversidade de consumo de materiais e por este motivo justifica absorver este tipo de resíduo como matéria prima ou adição em seus produtos (Akçaözoğlu, Atiş, & Akçaözoğlu, 2010).

Atualmente o PET reciclado já é utilizado como matéria prima em diversos produtos e segmentos da indústria como: a têxtil, a de embalagem para alimentos e não alimentos, fitas de arquear, resina insaturada e alquílicas, laminados e chapas, tubos dentre outros e com perspectivas de crescimento, apenas limitado pela dificuldade de captação do resíduo e seu destino às recicladoras, pois toda a cadeia de reciclagem está baseada na captação deste material onde o principal protagonista corresponde as cooperativas de catadores que coletam este material de diversos ambientes e os destinam adequadamente nas usinas de reciclagem que por sua vez compram este resíduo a um valor competitivo de maneira a promover a geração de renda para este segmento (ABIPET, 2013; Coelho, Castro, & Gobbo, 2011).

A construção civil é um dos setores que mais causa impacto ao meio ambiente, porém também é um dos segmentos que mais investe na implementação e implantação da gestão de seus resíduos e em inovações tecnológicas (Paschoalin Filho & Duarte, 2014). O incontornável aumento da geração do resíduo de PET proveniente de alto consumo de garrafas e embalagens na sociedade atual tornou-se um sério problema. A velocidade de produção e de utilização das embalagens de PET em produtos são maiores do que a capacidade de absorção e destinação deste resíduo. A destinação inadequada e a necessidade de grandes espaços em aterros para sua deposição estão degradando o meio natural e a sociedade. Diversos estudos têm sido publicados e vem sugerindo, como mitigação deste impacto, a inserção deste resíduo na indústria de uma forma geral (Choi, Moon, Kim, & Lachemi, 2009; Taaffe, Rahman, & Pakrashi, 2014).

2.2.2 A utilização de resíduos na construção civil como inovação tecnológica em sustentabilidade

Na construção civil, segundo Cortes, França, Quelhas, Moreira e Meirinho (2011), a sustentabilidade se associa cada vez mais à capacidade de inovação das empresas construtoras, que apostam no conhecimento e modernização de seus processos gerenciais e em seu aperfeiçoamento e inovação, e que não necessariamente esteja envolvido com grandes investimentos, podendo ser aplicado em soluções simples, eficazes e criativas que promovam melhorias nos ambientes de trabalho e no relacionamento entre empresa e as partes interessadas. O segmento da construção civil é um grande consumidor de matéria-prima não renovável e um grande gerador de danos ambientais, e nesta direção, com o objetivo de mitigá-los e de atender às legislações vigentes surge a necessidade de desenvolvimento de inovações tecnológicas que atendam a tais premissas tornando-se fundamental para a sustentabilidade (Ar, 2012).

Na visão de Aro e Amorim (2004), a utilização de produtos, com um melhor desempenho ambiental na construção civil, pode ser alterada com um empenho de profissionais projetistas, que possuem meios de sugerir inovações tecnológicas para empresas do setor, por meio da equação de custos e diminuição de desperdícios, além de inserir em seus projetos, novos materiais ofertados pela cadeia de fornecedores, contribuindo para a

racionalização do processo e para a melhoria da qualidade do produto final. Neste mesmo caminho Cachim, Velosa e Ferraz (2014), definem que a construção sustentável é aquela que visa a redução da pegada ambiental, usando critérios ambientais nas fases de concepção, projeto, construção, manutenção e demolição em conjunto com a necessidade de produção de materiais sustentáveis.

Com o fomento da construção civil para atender as demandas de infraestrutura gerada pelo crescimento populacional e demais obras de desenvolvimento e também com o aumento das demolições de antigas edificações para abrigar novos empreendimentos, surgiu uma preocupação com os resíduos que são gerados nestas atividades. Segundo Pereira, Medeiros & Levy (2012) muitos países têm estudado a possibilidade de reaproveitamento destes resíduos em substituição aos materiais naturais já empregados na indústria da construção, gerando várias vantagens, dentre elas a economia na aquisição de matéria prima e a preservação das reservas naturais.

Diante da necessidade de correta destinação dos resíduos sólidos no país, a necessidade de inovações tecnológicas que absorvam estes resíduos e o destinem adequadamente vem gradativamente ganhando espaço. Uma das alternativas consolidadas é a manufatura de novos materiais para utilização na construção civil, atendendo com isso a hierarquia da gestão de resíduos sólidos: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos e disposição final, pois ao propor uma inovação tecnológica para utilização de resíduos, este quesito se enquadra no terceiro degrau da hierarquia descrito: a reciclagem. (PNRS, 2010). Esta ideia, segundo Tam (2009), também pode ser aplicada às inovações tecnológicas que insiram resíduos industriais em novos materiais para construção e atendam ao quarto degrau da gestão de resíduos: reutilizar. A autora ainda conclui que o reaproveitamento e a reciclagem de resíduos na fabricação de novos produtos, contribui para um desempenho sustentável da indústria da construção civil pois pode gerar uma cadeia produtiva que atenda a esfera econômica, com a elaboração do novo produto, que além de melhorar a qualidade de vida e de saúde da sociedade, atende assim, a esfera social e finalmente, a disposição adequada dos resíduos descartados desta forma atendendo a esfera ambiental. Com base nestes parâmetros: econômico, social e ambiental, o conceito de desenvolvimento sustentável pode ser aplicado, pois segundo a definição Elkington (2012), amplamente discutida e aceita, o desenvolvimento sustentável de um segmento só será alcançado se este estiver baseado no

conceito do *triple bottom line*, que é estar apoiado nos três pilares fundamentais que são o econômico, o social e o ambiental formando desta forma o tripé da sustentabilidade.

Desta maneira pode-se considerar que a inclusão do resíduo, nos materiais de construção civil extrapola o desempenho ambiental que promove o alívio de aterros, a diminuição da necessidade de matéria prima natural não renovável, a diminuição de emissão de gases poluentes, uma menor utilização de energia, inserindo o resíduo em uma cadeia produtiva que gera benefícios sociais e econômicos, por meio da inclusão de trabalhadores no mercado de trabalho fomentando, a geração de renda e ainda valorando um resíduo descartado.

Segundo Pérez-Villarejo, Corpas-Iglesias, Martínez-Martínez, Artiaga, & Pascual-Cosp (2012) a inovação tecnológica mostra-se uma interessante alternativa para a mitigação dos impactos causados pelos resíduos sólidos. A incorporação dos resíduos aos processos de fabricação dos materiais de construção civil como parte de matéria prima ou como uma adição, melhorando seu desempenho, é de grande importância (Safiuddin, Jumaat, Salam, Islam,, & Hashim, 2010), pois além de garantir sua correta destinação, proporciona uma alternativa sustentável para o setor (Pappu, Saxena, & Asolekar, 2007).

Segundo Madurwar, Ralegaonkar, & Mandavgane (2013), o aumento da população tem ampliado a necessidade de construção ou melhorias nas áreas de infraestruturas, moradia, urbanização e, com isto, surge o aumento da demanda por materiais de construção como: aço, concreto, cimento, tijolos e revestimentos, o que implica em um aumento de consumo das matérias primas para sua produção. Outro fator importante no incentivo a incorporação de resíduos na manufatura de materiais de construção consiste na escassez crescente de matéria prima natural, além do alto preço da energia. Partindo destes princípios, a utilização de matéria prima alternativa na produção dos materiais de construção consiste em um conceito global gerando uma busca por produtos sustentáveis e amigáveis ao meio ambiente (Safiuddin *et al.*, 2010).

Como uma forma de destinação dos resíduos sólidos, tem-se desenvolvido técnicas de reciclagem aplicada à engenharia civil. Este conceito já vem sendo utilizado e vem sofrendo um considerável desenvolvimento já a um longo tempo. Como exemplos, já em utilização, podem-se citar a utilização dos seguintes resíduos industriais na obtenção de materiais de

construção civil: a cinza volante, a escória de alto forno, agregados reciclados de concreto, lama vermelha, resíduo da produção de celulose, resíduo de chá, etc., conforme demonstrado na Tabela 2 (Safiuddin *et al.*, 2010; Taaffe *et al.*, 2014).

Tabela 2 - Diferentes tipos e procedências de resíduos sólidos e sua reciclagem e utilização nos materiais de construção

Procedência	Tipo de Resíduo Sólido	Reciclagem e uso
Agricultura (orgânicos)	Palha e casca de trigo e arroz, resíduo de serração, casca de amendoim, juta, sisal, haste do algodão, resíduos de vegetais	Placas de cimento, painéis de partículas, placas de isolamento, painéis de parede, telhas, maderite, tijolos, cimento, polímeros
Resíduo Industrial (inorgânico)	Resíduos da queima do carvão, escória de alto forno, resíduo de bauxita, resíduos de construção	Tijolos, blocos, telhas, azulejos, cimento, tinta, agregado miúdo e graúdo, concreto, substitutos de produtos de madeira, produtos cerâmicos
Mineração/ resíduos minerais	Carvão, resíduos de mineração de ferro, zinco, alumínio	Tijolos, agregados graúdos e miúdos leves, azulejos
Resíduos não perigosos	Resíduo de gesso, lama de cal, cacos de cerâmica e vidro, resíduos de corte mármore	Blocos, tijolos, clínquer, manta hidráulica, placas de gesso, gesso
Resíduos perigosos	Resíduos de galvanização, resíduos metalúrgicos, lodo	Placas, tijolo, cimento, cerâmicas, azulejos.

Fonte: Adaptado pelo autor de Safiuddin *et al.* (2010) e adaptado de Pappu *et al.* (2007)

De acordo com a Tabela 2, diversos tipos de resíduos provenientes de vários segmentos produtores já estão sendo utilizados em processos de fabricação de materiais para a construção civil. Tam (2009), sugere que se incorporem os próprios resíduos da construção civil na cadeia produtiva, pois desta maneira o reaproveitamento e a reciclagem destes materiais ajudariam a diminuir a necessidade de recursos naturais, além de dispor corretamente estes resíduos. Um exemplo bem sucedido de utilização de resíduos em novos materiais de construção civil foi na confecção de tijolos de solo cimento. Foram utilizados resíduos oriundos de construção e demolição acrescidos ao solo. O resultado foi uma melhora

das características técnicas, com diminuição de custo e do consumo de recursos não renováveis além de destinar e agregar valor a estes resíduos (Souza, Segatini, Santos & Silva, 2006).

Taguchi, Santos, Gomes e Cunha (2014), explicam que no processo do corte da rocha ornamental são gerados resíduos na forma de lama que após seco torna-se um produto que não se degrada no meio ambiente. Para minimizar o impacto ambiental que este resíduo causa no meio ambiente, os autores estudaram a adição deste descarte na massa de cerâmica vermelha utilizada na confecção de tijolos e telhas de cerâmica. Os estudos comprovaram que a inserção deste resíduo, além de atender a qualidade final necessária ao produto destina corretamente o resíduo de rocha ornamental.

Brehm, Kulakowski, Evaldt, Moraes e Pampanelli (2013), conduziram estudos em lodo de fosfatização, que é um resíduo não inerte gerado do tratamento de efluentes do processo de revestimento fosfático do aço. Sua destinação ocorre em aterros industriais, porém este resíduo pode ser estabilizado por solidificação quando incorporado à cerâmica e aos produtos à base de cimento Portland, permitindo a reciclagem deste material e a sua introdução como matéria prima na cadeia produtiva da construção civil para a produção de blocos cerâmicos e concretos, reduzindo os custos para tratamento e disposição final do resíduo, além do alívio na área de aterro.

Soto Izquierdo e Ramalho (2014), ressaltam o empenho dos pesquisadores na busca de novas matérias primas renováveis, e o interesse na aplicação destes na construção civil, principalmente em países em desenvolvimento. Como exemplo citam viabilidade da inserção de resíduos sólidos urbanos incinerados, cinza de bagaço de cana de açúcar e fibra de sisal na fabricação de argamassas e concretos, como maneira de dirimir os impactos ambientais causados em sua destinação final.

Para Costa, Gumieri e Galvão (2014), uma sugestão para a destinação do rejeito proveniente da mineração de ferro, denominado *sinter feed*, consiste em utilizá-lo como agregado na confecção de blocos de concreto para pavimento intertravado. Esta solução mostrou-se viável tecnicamente, porém com ressalvas na sua avaliação econômica devido ao peso próprio do bloco ter se tornado alto, aumentando o custo com transporte.

Fioriti, Ino e Akasaki (2007), estudaram a incorporação dos resíduos de borracha de recauchutagem de pneus na confecção de concreto para blocos de pavimento intertravado. Além da positiva importância ambiental gerada pela correta destinação do resíduo e, diminuição do consumo de matéria prima natural, a incorporação de resíduos em materiais pode atender aos requisitos ambientais tecnológicos e econômicos. Os autores substituíram parte do agregado natural por resíduos de borracha nas proporções de 8%, 10% e 12% em volume nas dosagens dos concretos. Foram testadas as resistências à compressão, a absorção de água e a resistência ao impacto do material confeccionado. Os resultados mostraram que com o aumento da adição do resíduo na mistura a resistência à compressão do material diminuía. Os autores observam que com o consumo de 323kg/m³ de cimento foram atingidas resistências a compressão em um intervalo entre 19 e 23 MPa, porém estes valores não atenderam a norma NBR 9780/1997 que especifica resistência mínima de 35 MPa para a utilização para tráfego de veículos, entretanto, os autores sugerem a utilização do material em áreas onde as solicitações sejam menores como ciclovias, passeio de pedestres, praças.

Ao longo dos anos, a reciclagem e reutilização do resíduo de PET têm sido incorporados às práticas ambientais, tanto empresariais, quanto governamentais, como forma a minimizar os impactos causados não apenas ao meio ambiente, mas à sociedade como um todo. Vários estudos nacionais e principalmente internacionais vêm demonstrando e sugerindo a inserção deste tipo de resíduo na cadeia da construção civil, seja como matéria prima ou como adição aos materiais necessários a este segmento, justificada pela sua grande abrangência e diversidade de produtos. (Choi, Moon, Chung, & Cho, 2005; Choi, Moon, Kim, & Lachemi, 2009; Taaffe, Rahman, & Pakrashi, 2014).

O setor da construção civil parece ser apropriado para receber o resíduo de PET, primeiro por sua grande capacidade de consumo de materiais e segundo por necessitar de um grande volume de matéria prima renovável (Akçaözoglu, 2009; Pacheco-Torgal, Ding, & Jalali, 2012; Foti, 2013, Taaffe, O'Sullivan, Rahman, & Pakrashi, 2014). Este tema é aceito e discutido por vários autores no Brasil e em outros países do mundo. Diversos estudos foram publicados e abordam a utilização do PET como inserção nos produtos da construção civil.

Taaffe, O'Sullivan, Rahman e Pakrashi (2014), publicaram em seu estudo a sugestão da execução de obras por meio da confecção de tijolos utilizando-se garrafas de PET preenchidas com resíduos plásticos proveniente de embalagens denominadas de *Eco-Bricks* como

alternativa ao tijolo convencional de alvenaria de fechamento. Foram realizados ensaios de compressão, de isolamento acústico e avaliação de transmissão de luz, sendo os parâmetros obtidos e os valores comparados com os de uma construção convencional. Os resultados mostraram-se satisfatórios e estimulam estudos futuros e mais aprofundados.

No estudo de concreto fresco e endurecido, Saikia e de Brito (2014), estudaram a adição do PET na fabricação do concreto. Este estudo consistiu na substituição de 5%, 10% e 15% do volume de agregado natural por três diferentes granulometrias de PET durante a dosagem do concreto. O ensaio de abatimento (*Slump*) no concreto fresco apontou um pequeno aumento quando adicionado o PET no formato esférico, porém a adição do PET em flocos demonstrou uma redução do *slump*, e que foi reduzindo ainda mais na medida que se aumentava o volume e a dimensão do PET. Com o acréscimo do volume de PET e o aumento da dimensão do material, os parâmetros dos ensaios de resistência à compressão, resistência à compressão diametral, módulo de elasticidade, resistência à tração na flexão do concreto endurecido diminuíram. Um outro fator relevante foi a alteração da relação água cimento, do *slump* do concreto fresco e das propriedades mecânicas do concreto endurecido que variaram com as diferenças de textura, tamanho e formato do PET.

Na mesma linha Akçaözöğlü, Atiş, e Akçaözöğlü (2010), sugerem a utilização do resíduo triturado de garrafas PET como agregado na confecção de concretos leves. Os autores relatam que os testes foram feitos confeccionando três dosagens de argamassas distintas: a primeira contendo apenas o PET em substituição ao volume total do agregado natural, a segunda contendo uma parte de areia e uma parte de PET no volume total do agregado e a terceira substituindo 50% do total de cimento por escória de alto forno. Após ensaios de resistência à compressão e análise das propriedades das argamassas foi constatado que as argamassas contendo PET e contendo escória podem ser enquadradas como concreto estrutural leve. A absorção de água também se enquadrou nos limites estabelecidos para concreto leve e os resultados de retração da argamassa com PET foram maiores que os valores da argamassa contendo PET e areia. Os valores de resistência à compressão, tração na flexão, a massa, profundidade de carbonatação das argamassas contendo PET e areia são mais altas que a argamassa contendo apenas PET. A utilização do PET no concreto ou na argamassa além de diminuir o impacto ambiental que este resíduo ocasiona, pode vir a diminuir o peso próprio das estruturas de concreto.

Duarte (2013), demonstrou em seu estudo a viabilidade da utilização dos resíduos de construção e demolição em conjunto com o PET. Foram realizados diversos estudos de dosagem de argamassa em que as proporções de RCC e PET variaram e substituíram o agregado miúdo natural em sua totalidade. O autor concluiu que todas as argamassas produzidas se apresentaram como uma boa alternativa para a execução de artefatos decorativos, calçamento de passeios, guias, sarjetas, dentre outros. A dosagem composta com 80% de RCC e 20% de PET, obteve um alto índice de permeabilidade, mostrando uma alta capacidade drenante do material apropriada para áreas expostas as intempéries.

Modro, N., Modro, N., Modro, N., & Oliveira, A. (2009), estudaram a influência que a adição do resíduo de PET teria no concreto de cimento Portland. Para isto escolheram substituir parte do agregado natural por resíduo nas proporções em volume de 10%, 20%, 30%, 40% e do traço padrão isento de PET. Após os ensaios de resistência à compressão e a análise das características do concreto fresco, foi possível concluir que à medida em que se aumentava a porcentagem de PET, menor era o valor da resistência mecânica encontrada, portanto o menor valor foi para o traço com 40% de PET com 1,94 MPa de resistência e o maior valor foi no traço sem adição de PET com 15,38 MPa de resistência. Em face do exposto os autores complementam que os traços de concreto com substituição de agregados naturais por resíduos de PET podem ser utilizados no segmento da construção civil para a confecção de artefatos de concreto não estruturais como: alvenaria de fechamento, capas de lajes e como material de preenchimento.

Pelos trabalhos publicados é permitido concluir que os autores citados mostram preocupação com a destinação final do resíduo de PET tanto no Brasil como nos demais países. A diversidade de estudos publicados, sugerindo a inovação tecnológica por meio da obtenção de novos materiais de construção obtidos a partir da adição de resíduos industriais é crescente, sendo que intenção de inseri-los na construção civil mostra-se premente nos estudos levantados.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Baseando-se nas definições propostas por Gil (2002), esta pesquisa pode ser caracterizada como exploratória e experimental. É considerada como exploratória uma vez que buscou avaliar técnica e economicamente um novo material alternativo de construção civil utilizando-se concreto com adição de resíduos de PET em sua dosagem, de forma a fornecer ao meio técnico mais uma maneira de reciclagem deste material e ao mesmo tempo reduzir o impacto ambiental causado pela construção civil. De acordo com os procedimentos técnicos utilizados, a pesquisa foi caracterizada como experimental pois utilizou-se testes de laboratório que verificaram e avaliaram as características do produto proposto.

Também fez parte da metodologia do trabalho a revisão bibliográfica do assunto em estudo. Foram verificadas bases de dados, na Europa, Estados Unidos e Brasil, como Web of Science, Scopus, Scielo, no qual pretendeu-se localizar e identificar estudos que englobavam a inovação tecnológica de materiais para a construção civil.

Para tal levantamento utilizou-se uma busca dos artigos com palavras chaves como: sustentabilidade, inovação tecnológica, resíduos de PET, materiais de construção e construção civil. Ao todo foram localizados 1.424 trabalhos. Estes artigos foram filtrados conforme suas relevâncias e atualidades o que resultou em um total de 331. Após a leitura e o fichamento destes artigos, foi realizada uma nova triagem restringindo-se exclusivamente aos itens necessários à revisão bibliográfica, resultando um total de 107 artigos utilizados neste estudo.

3.1 COLETA, CARACTERIZAÇÃO E EXECUÇÃO DOS ENSAIOS LABORATORIAIS

Todas as etapas e procedimentos de coleta, caracterização dos materiais envolvidos e execução dos ensaios laboratoriais neste estudo foram realizados e orientados por suas respectivas Normas Brasileiras (NBR) vigentes, sendo estes descritos a seguir:

3.1.1 Coleta das amostras

Para o desenvolvimento do concreto com resíduo de Politereftalato de Etileno (PET), foi necessária a escolha de materiais com características básicas específicas, como o tipo de cimento, a dimensão/granulometria correta dos agregados naturais britados ou de rio, a dimensão do resíduo de PET e o tipo de aditivo.

As amostras dos materiais, com exceção do de resíduo de PET e do aditivo para concreto, foram coletadas em uma central de produção de concreto da empresa Engemix S.A, localizada no Bairro do Limão na cidade de São Paulo. Os materiais necessários aos estudos de dosagem foram escolhidos baseados em materiais normalmente já utilizados na confecção do concreto, que são: cimento Cimento Portland com alta resistência inicial (CPV – ARI PLUS), agregado natural gráudo na dimensão de pedrisco (brita 0) e graduação 1 (brita 1), agregado miúdo natural de rio na dimensão de areia e agregado britado também na dimensão areia e de aditivos plastificante e superplastificante para concreto.

A amostra de PET na granulometria de flocos, foi coletada em uma usina específica de reciclagem deste material, localizada no município de Mauá no estado de São Paulo e disponibilizado pela Associação Brasileira da Indústria do PET (ABIPET). Este material foi produzido por meio de moagem de garrafas PET de diversas colorações, em moinho de martelo até o formato flocos, sem tampa, rótulo e isentas de contaminação.

As amostras de aditivo plastificante Muraplast FK 840 e superplastificante MC PowerFlow 1180 para concreto foram coletadas diretamente na fábrica da empresa MC Bauchemie Construction Chemicals localizada no município de Vargem Grande no estado de São Paulo.

A coleta das amostras de agregados atendeu as recomendações da NBR NM 26:2009 – “Agregados – Amostragem”, que estabelece os procedimentos para a correta coleta, armazenagem, transporte das amostras de agregados naturais gráudos e miúdos para concreto destinados a ensaios em laboratório. Cada amostra foi coletada em sua respectiva pilha, sendo estas compostas por porções contendo material da base, do meio e do topo da pilha, em seguida o material foi misturado, quarteado, ou seja, dividido em 4 porções e retirado apenas

uma parte para a representação do lote característico daquele material. Nas Figuras 6 à 8 são observadas as pilhas de onde foram colhidas as amostras de agregados necessárias a este estudo.



Figura 5 – Localização da central de produção de concreto que cedeu as amostras dos materiais utilizados no estudo

Fonte: Adaptado do Google Earth (2015)



Figura 6 – Vista interna da área destinada ao armazenamento de brita 1

Fonte: Engemix (2014)



Figura 7 – Vista interna da área de armazenamento da areia natural fina

Fonte: Engemix (2014)

Na sequência, as amostras foram acondicionadas em sacos de aniagem totalizando uma massa de agregado gráudo de 700 quilogramas de brita zero com dimensão aproximada de 9,5

milímetros e 700 quilogramas de brita 1 com dimensão aproximada de 19,0 milímetros e, de agregado miúdo com 500 quilogramas de areia com granulometria média 500 quilogramas com granulometria fina. Em seguida as amostras foram transportadas para o Laboratório de Materiais de Construção Civil acreditado pelo INMETRO, da empresa EPT – Engenharia e Pesquisas Tecnológicas S.A, localizado na cidade de Osasco em São Paulo.

A amostra de cimento foi coletada, armazenada e transportada obedecendo os critérios estabelecidos na NBR 5741:1993 – “Extração e Preparação de Amostras de Cimento”. No dia da coleta, o material foi retirado, pela abertura inferior do silo de armazenagem em uma quantidade total de 500 quilogramas. Este material foi acondicionado em sacos plásticos e em seguida transportado para o laboratório de materiais de construção civil da empresa EPT – Engenharia e Pesquisas Tecnológicas S.A. Na Figura 8 é apresentada a central de produção de concreto de onde foram coletados os materiais e na Figura 9 pode ser visualizado o cimento amostrado e utilizado nos estudos de dosagem.



Figura 8 – Vista interna da central de produção de concreto.

Fonte: Engemix (2014)



Figura 9 – Amostras de cimento Portland CP V-ARI

Fonte: Autor (2014)

Para a amostragem do PET em flocos, foi utilizada a NBR NM 26:2009 – “Agregados – Amostragem”, que estabelece os procedimentos para a correta coleta, armazenagem e transporte das amostras de agregados para concreto destinados a ensaios em laboratório. A amostra foi retirada de um monte composto pelo material triturado em granulometria de flocos e foi composta com porções contendo material da base, do meio e do topo da pilha. Em seguida o material separado foi misturado, quarteado, para posteriormente ser retirado apenas uma parte para a representação do lote característico daquele material.

Na sequência, a amostra de PET foi acondicionada em uma embalagem do tipo “*big bag*” totalizando uma massa de 250 quilogramas de material que, em seguida, foi transportada para o laboratório de materiais de construção civil da empresa EPT – Engenharia e Pesquisas Tecnológicas S.A.

A Figura 12 mostra o aspecto do material PET coletado e utilizado para o estudo de dosagem do concreto.



Figura 10 - Amostra do resíduo de PET utilizado nos ensaios

Fonte: Autor (2014)

Os aditivos líquidos são específicos para a utilização em concretos e são produtos industrializados e fabricados em linha de produção. As amostras foram transportadas nas próprias embalagens plásticas de 1 litro do próprio fabricante, de maneira a garantir a sua integridade e foram encaminhadas para o laboratório de materiais de construção civil da empresa EPT – Engenharia e Pesquisas Tecnológicas S.A. A Figura 11 mostra os aditivos utilizados neste estudo.



Figura 11- Amostras de aditivos utilizados nas dosagens

Fonte: Autor (2014)

3.1.2 Ensaios laboratoriais para caracterização dos materiais

Antes da realização do estudo de dosagem do concreto, necessário para a manufatura dos blocos para pavimento intertravado, foi preciso conhecer as características individuais de cada material que iria compor o concreto. Esta análise foi efetuada por meio de ensaios laboratoriais que caracterizaram cada material. Os materiais escolhidos obrigatoriamente precisaram atender a parâmetros específicos exigidos nas normas brasileiras que orientaram os ensaios.

Para alcançar o objetivo do estudo, foi escolhido o Cimento Portland de alta resistência inicial, CPV-ARI PLUS que segue as especificações da NBR 5733: 1991- “Cimento Portland de Alta Resistência Inicial – Especificação”. Segundo a norma, este tipo de cimento deve atender a valores de resistência de 26 MPa com 1 dia de idade e 56 MPa aos 28 dias, valores estes bem superiores aos demais cimentos Portland. Esta característica é possibilitada por uma moagem mais fina do clínquer, que é o produto da combinação do calcário com a argila. Por este motivo é recomendado para ser utilizado na confecção de peças pré-fabricadas, blocos de concreto para alvenaria e pavimentação, tubos, artefatos e demais elementos. Para a confecção dos blocos de pavimento intertravado de concreto, a alta resistência nas primeiras idades do concreto foi um fator necessário para possibilitar a moldagem e a desforma das peças que foram produzidas.

Nas amostras de cimento, foram realizados ensaios físicos, especificados pelas normas técnicas deste material. O objetivo foi verificar se os parâmetros físicos de produção correspondem aos exigidos a este tipo de cimento. Foram executados os seguintes ensaios:

- ABNT NBR NM 43:2003 “Cimento Portland - Determinação da pasta de consistência normal”
- ABNT NBR NM 76:1998 “Cimento Portland - Determinação da finura pelo método de permeabilidade ao ar (Método de Blaine)”
- ABNT NBR 11582:2012 “ Cimento Portland – Determinação da expansibilidade Le Chatelier”;
- ABNT NBR 11579:2012 “ Cimento Portland – Determinação do índice de finura na peneira 200”;

- ABNT NBR 65:2003 “Cimento Portland - Determinação do tempo de pega”;
- ABNT NBR 23:2001 “Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica”;
- ABNT NBR 7215:1996 “Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão”.

A Figura 12 mostra o aspecto do cimento que foi utilizado nos estudos de dosagem do concreto para a confecção dos blocos de pavimento intertravado.

Os agregados que foram selecionados para o estudo de dosagem do concreto foram os naturais, provenientes de rio e de pedreira. Utilizou-se dois materiais na granulometria de areia: o proveniente de rio, que foi lavado na origem, e o de pedreira. O material de pedreira foi britado na sua produção e em diversas granulometrias, na qual se utilizou para o estudo as relativas as granulometrias de areia (areia britada) e brita 1 conforme mostrado na Figura 13.

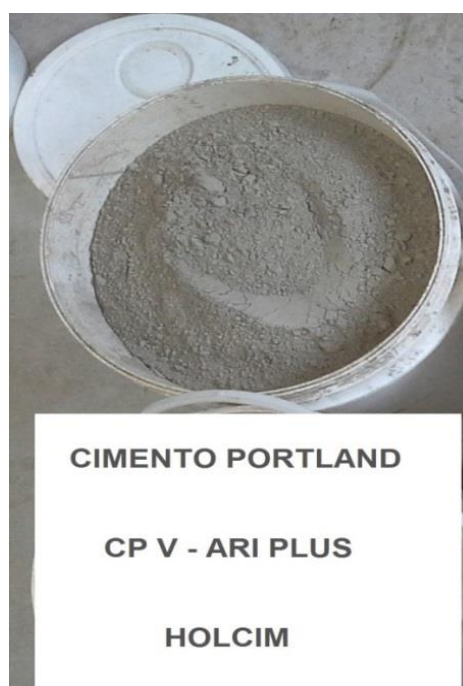


Figura 12 – Amostra de cimento utilizado nos ensaios

Fonte: Autor (2014)

Para a verificação dos parâmetros físicos dos agregados grãos e miúdos de pedreira (brita 1 e areia) e miúdo de rio (areia) quanto às suas dimensões, densidades e nível de

impurezas, foram utilizados os ensaios laboratoriais que serviram para confrontar as amostras coletadas com as especificações técnicas descritas na NBR 7211:2009 “Agregados para concretos – Especificação” que especifica os requisitos exigíveis para recepção e produção dos agregados miúdos e graúdos destinados à produção de concretos de cimento Portland. Os ensaios que foram executados os seguintes ensaios:

- ABNT NBR NM 53:2009 “Agregado graúdo - Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água”;
- ABNT NBR NM 52:2009 “Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente”;
- ABNT NBR NM 248:2003 “Agregados - Determinação da composição granulométrica”;
- ABNT NBR 7218:2010 “Agregados — Determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis”;
- ABNT NBR 46:2003 “Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira 75 µm, por lavagem”;
- ABNT NBR NM 49:2001 “Agregado miúdo - Determinação de impurezas orgânicas”.



Figura 13 - Amostra dos agregados utilizados nos ensaios: a areia rosa natural de rio, a brita 1 de pedreira e a areia de rocha (britada)

Fonte: Autor (2014)

Para este estudo, os resíduos de Politereftalato de Etileno (PET) foram caracterizados quanto a sua granulometria, uma vez que este consiste em um material inerte não influenciando sua composição nas características químicas do concreto. Ressalta-se que o objetivo deste material na dosagem foi o de substituir parte dos agregados naturais utilizados e não incrementar as características químicas intrínsecas do material. Para isto, foi adotada a norma de agregados ABNT NBR NM 248:2003 “Agregados - Determinação da composição granulométrica”; que teve a finalidade de situar o resíduo produzido nas classificações de intervalos dimensionais utilizados para os agregados. Na Figura 14 é apresentada a amostra que foi utilizada no ensaio de granulometria do material.



Figura 14 – Amostra do resíduo de PET no formato de flocos utilizado nos ensaios

Fonte: Autor (2014)

Para obtenção das dosagens ideais dos aditivos líquidos, foram utilizadas as informações contidas nas fichas técnicas fornecidas pelo fabricante. Estes produtos têm as características de reduzir o teor de água nos traços de concreto, melhorar as resistências iniciais e de aumentar o tempo de trabalhabilidade do concreto (facilidade com o qual o concreto em estado fresco pode ser manipulado sem perder suas características de coesão). Na Tabela 3 encontram-se os dados técnicos e as características dos aditivos superplastificante MC PowerFlow 1180 e plastificante Muraplast 840, obtidos das fichas técnicas dos produtos, fornecidas pelo fabricante.

Tabela 3 - Ficha técnica dos aditivos superplastificante MC-PowerFlow 1180 e do aditivo plastificante Muraplast 840.

Dados técnicos e características dos aditivos				
	MC PowerFlow 1180		Muraplast FK 840	
Dados técnicos	Unidade	Valor	Unidade	Valor
Densidade	g/cm³	1,09 +- 0,02		
PH	Escala	6,7 +- 0,1		
Dosagem Recomendada	%	0,2 à 5,0	%	0,2 à 1,0
Teor de Cloretos	%	< 0,1		
Teor de Álcalis	%	< 1,0		
Características				
Tipo de Produto	Superplastificante		Plastificante polifuncional	
Estado	Líquido		Líquido	
Cor	Marrom claro		Marrom escuro	
Armazenagem	Em local seco, coberto e arejado			
Validade	12 meses da data de fabricação			
Embalagem	Tambor de 200kg e granel		Tambor de 210kg e granel	

Fonte: Adaptado pelo autor a partir do catálogo técnico da MC Bauchemie (2015)

Por meio da Tabela 3, verifica-se todos os dados técnicos disponibilizado pelo fabricante sobre os aditivos líquidos utilizados, ressaltando-se o item relativo a dosagem da quantidade do material recomendada para o uso de concreto.

3.2 ESTUDOS DE DOSAGEM, MOLDAGEM DE CORPOS DE PROVA E ENSAIOS FÍSICOS

Os estudos das dosagens, confecções das amostras e demais ensaios físicos foram realizados conforme descrito a seguir:

3.2.1 Estudos de dosagem

Para a confecção dos blocos de pavimento intertravado, foram realizados previamente diversos estudos de dosagens do concreto, considerando-se as características dos materiais constituintes. Estes dados foram obtidos por meio dos ensaios de caracterização que foram realizados em laboratório. Também se levou em consideração as necessidades de consistência, plasticidade / trabalhabilidade da massa adequadas para a aplicação, a moldagem

do concreto nas fôrmas do bloco e a necessidade de atingir uma resistência mecânica característica à compressão (f_{pk}) mínima, conforme especificada pela Norma Brasileira NBR 9781:2013 – “Peças de concreto para pavimentação – Especificação e método de ensaio”. De acordo com a norma a resistência característica à compressão deve atender às especificações do Quadro 1 a seguir.

Quadro 1– Resistência característica à compressão

Solicitação	Resistência característica à compressão (f_{pk}) aos 28 dias MPa
Tráfego de pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linha	≥ 35
Tráfego de veículos especiais e solicitações capazes de produzir efeitos de abrasão acentuados	≥ 50

Fonte: NBR 9781:2013

O objetivo do estudo de dosagem foi encontrar o melhor traço de concreto que atendesse às exigências para tráfego de pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linha e conforme indicado no Quadro 1 este valor de resistência mínima aos 28 dias de idade corresponde a $f_{pk} \geq 35$ MPa. Para o cálculo do f_{pk} , foram utilizadas as resistências individuais de cada bloco e aplicadas na seguinte fórmula extraída da NBR 9781:2013:

$$f_{pk, est} = f_p - t \times s$$

sendo,

$$s = \sqrt{\frac{\sum (f_p - f_{pi})^2}{n-1}}$$

onde

f_p é a resistência média das peças, expressa em megapascals (MPa);

f_{pi} é a resistência individual das peças, expressa em megapascals (MPa);

$f_{pk, est}$ é a resistência característica estimada à compressão, expressa em megapascals (MPa);

- n é o número de peças da amostra;
- s é o desvio padrão da amostra, expresso em megapascals (MPa)
- t é o coeficiente de Student fornecido no Quadro 2, em função do tamanho da amostra

Segundo a NBR 9781:2013, é necessário utilizar um nível de confiança para as amostras estudadas. O nível de confiança de 80% é o coeficiente adotado e utilizado para esta norma. Os valores fornecidos de pela NBR, que relaciona o número de amostras em função do coeficiente de Student apresenta-se no Quadro 2, a seguir.

Quadro 2 – Coeficiente de Student

(nível de confiança de 80%)

n	t
6	0,92
7	0,906
8	0,896
9	0,889
10	0,883
12	0,876
14	0,87
16	0,866
18	0,863
20	0,861
22	0,859
24	0,858
26	0,856
28	0,855
30	0,854
32	0,842

Fonte: NBR 9781:2013

O Quadro 2 mostra os parâmetros do coeficiente de Student que foram utilizados para o cálculo da resistência característica do bloco, seguindo as orientações da norma NBR 9781:2013. Para a aceitação técnica do material foi também necessário ensaiar o bloco de

concreto quanto à quantidade de água que o material absorveu. Para o cálculo da absorção de água foi utilizada a seguinte equação extraída da norma técnica:

$$A = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100$$

onde

A é a absorção de cada bloco, expresso em porcentagem (%);

m₁ é a massa do bloco seco, expresso em gramas (g)

m₂ é a massa do bloco saturado, expresso em gramas (g)

A referida norma também especifica que para a aceitação técnica da amostra das peças de concreto, devem ser cumpridos simultaneamente os seguintes parâmetros descritos na Tabela 4 a seguir.

Tabela 4 – Requisitos da NBR 9781:2013 para aceitação da amostra de bloco de concreto para pavimento

Item analisado	Parâmetros da norma
Inspeção Visual	Devem apresentar aspectos homogêneos
Dimensões e tolerâncias das peças	Deve atender quanto a medida nominal do comprimento de no máximo 250 mm; medida real da largura de no mínimo 97 mm na área da peça destinada à aplicação de carga no ensaio de resistência a compressão; medida nominal de espessura de no mínimo 60 mm; tolerâncias dimensionais de ± 3 mm no comprimento, largura e espessura
Tráfego de pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linha	≥ 35 MPa
Absorção de água	Deve apresentar valor médio $\leq 6\%$

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados da NBR 9781:2013

Para a aceitação técnica dos blocos de concreto para pavimento intertravado todos os parâmetros descritos na Tabela 4 devem ser aprovados. Nos estudos de dosagem do concreto foram buscadas as características necessárias para que as peças confeccionadas atendessem a NBR 9781:2013.

Para o estudo de dosagem foi utilizado o método da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) adaptado do método *American Concrete Institute (ACI)* para agregados do Brasil (Rodrigues, 1995). Este método foi escolhido por ser utilizado na obtenção de concretos de consistência plástica à fluída e por fornecer uma primeira aproximação da quantidade dos materiais que foram necessários na realização da mistura experimental.

O método de dosagem foi baseado nas características dos materiais constituintes do traço de concreto e na quantidade de água, além da finalidade do uso do próprio concreto. Na Figura 15 é apresentada a sequência do estudo de dosagem descrito pelo método ABCP / ACI.

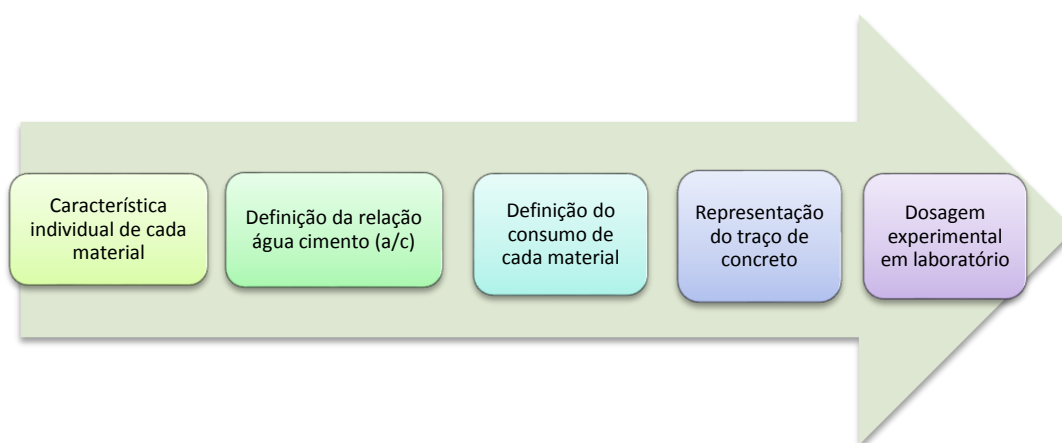


Figura 15 – Sequência das etapas do Método de dosagem da ABCP / ACI

Fonte: Elaborado pelo autor (2015)

Para o uso do método de dosagem ABCP/ACI, primeiramente foi necessário conhecer as características de cada material que constitui o traço do concreto. Estes dados foram obtidos por meio dos ensaios de caracterização dos materiais (cimento, agregado graúdo, agregado miúdo) realizados em laboratório. Na sequência foi necessário fixar uma relação água-cimento (a/c) obtida por meio da utilização da curva de Abrams (gráfico da relação água-cimento em função da resistência) do cimento ou do concreto escolhido para o estudo e, em seguida, foi calculado o consumo de cada material utilizado na dosagem do traço piloto que foi ajustado e corrigido, durante a execução do ensaio de dosagem.

Para a elaboração do traço padrão/piloto, sem PET, foram adotados os seguintes parâmetros retirados de dosagens padrão normalmente usados em artefatos de concreto: relação água-cimento $a/c = 0,54$, teor de argamassa 54% , traço unitário em peso 1:4 e um desvio de dosagem $S_d = 2,0\text{MPa}$ sendo que, após a dosagem dessas proporções e de acordo com os resultados obtidos para o concreto fresco através de análise visual do aspecto da mistura, aliado ao ensaio de abatimento de tronco de cone (Slump), foi possível determinar com maior precisão o teor ideal de água (H%) e a resistência característica de dosagem buscada (f_{cj}) para as futuras misturas, que balizaram os traços: Traço padrão sem adição de PET e traços com adição de PET em diferentes porcentagens. A fórmula descrita pelo método de dosagem e utilizada para o cálculo da resistência característica de dosagem foi:

$$f_{cj} = f_{ck} + 1,65 \cdot S_d$$

Onde

f_{cj}	é a resistência característica à compressão na idade j dias, expresso em megapascal, (MPa);
f_{ck}	é a resistência característica à compressão do concreto, expresso em megapascal (MPa);
S_d	é o desvio padrão de dosagem, expresso em megapascal (MPa).

De acordo com o objetivo de substituir parte de agregado natural por PET, foi definida a substituição simultânea e em frações equivalentes, de uma parte do agregado natural graúdo e de uma parte do agregado natural miúdo, por resíduos de PET em flocos. Seguindo esta premissa foram dosados traços de concreto, na qual parte dos agregados naturais, foram substituídos em volume, nas proporções definidas em 10%, 20%, 30%, 40%, 50% e 60% pelo resíduo de PET. Estas quantidades foram escolhidas para avaliar o comportamento das misturas ao longo da adição gradativa do material alternativo.

Para encontrar o traço que garantisse simultaneamente a maior proporção de resíduo com o melhor desempenho de resistência a compressão do material, alcançando a viabilidade técnica do bloco, foi elaborado um gráfico dos teores de PET estudados em função das resistências características encontradas aos 28 dias de idade. Com estes pontos foi definida

uma curva que por meio de interpolação linear dos resultados obteve-se o traço ideal com PET.

Na sequência foi realizado o mesmo procedimento de estudo de dosagem para um concreto convencional dosado somente com agregados naturais, ou seja, sem PET. Os traços unitários utilizados foram de 1:4, 1:5, 1:6 e 1:7. Na sequência foi elaborado um gráfico de relação água-cimento por resistência à compressão axial aos 28 dias de idade. Com a curva traçada e por meio da interpolação linear garantiu-se o melhor e mais viável traço de concreto sem PET para ser comparado ao traço dosado com PET.

Nos estudos de dosagem sem adição de PET não foram utilizados aditivos para concreto em virtude de terem sido alcançadas as plasticidades necessárias com o teor de água considerado bom, o que não ocorreu nos traços com adição de Resíduos de PET, que se mostraram com baixa plasticidade, que diminuía na medida que se aumentava o percentual de substituição de PET.

A opção de substituir tanto os agregados miúdos, quanto o gráúdo, deve-se ao fato de que, se houvesse a substituição somente das areias, as misturas ficariam muito comprometidas em sua plasticidade, pois não haveria argamassa suficiente para conferir a trabalhabilidade necessária e, se houvesse a substituição somente da brita o teor de argamassa ficaria muito elevado, além de incrementar demasiadamente o consumo de cimento por m^3 , o que poderia comprometer a resistência à compressão do concreto. Desta forma, pelos motivos expostos escolheu-se substituir a parte do agregado gráúdo em igual proporção aos agregados miúdos, por exemplo para substituir 40% de agregado por PET, foi retirado 40% de agregado gráúdo e 40% de cada agregado miúdo.

Para alcançar a definição dos traços ideais dos concretos dosados com PET e sem PET, foram estudados ao todo 11 traços separados em 2 grupos de modo que um deles é formado por concreto com a adição do resíduo conforme Tabela 5 e o segundo sem o resíduo verificado na Tabela 6.

Tabela 5 – Traço em peso e em volume dos concretos dosados com resíduo de PET

24/10/2014									01/12/2014					
Estudo de traço de concreto para piso intertravado com substituição de agregados por resíduos de PET														
Materiais para 1m3 de concreto	Traço 1		Traço 2- 10%		Traço 3- 20%		Traço 4- 30%		Traço 5- 40%		Traço 6- 50%		Traço 7- 60%	
	kg	volum e (L)	kg	volume (L)	kg	volume (L)	kg	volume (L)	kg	volume (L)	kg	volume (L)	kg	volume (L)
Cimento	357	119	357	119	357	119	357	119	357	119	357	119	357	119
Areia 1- quartzo	233	88	210	79	186,4	71	163	62	140	53	117	44	93	35
Areia 2- artificial	550	206	495	185	440	165	385	144	330	124	275	103	220	82
Brita 1	1090	407	981	366	872	325	763	285	654	248	545	206	436	164
PET-granulado	0	0	21	70	42	140	63	209	84	279	105	349	126	419
Agua	175	175	170	170	166	166	161	161	156	156	155	155	152	152
Aditivo 1 (0,5%)	3,213	3,213	3,213	3,213	3,213	3,213	3,213	3,213	3,213	3,213	3,213	3,213	3,213	3,213
Aditivo 2 (0,2%)	1,071	1,071	1,071	1,071	1,071	1,071	1,071	1,071	1,071	1,071	1,071	1,071	1,071	1,071
Ar incorporado				5		10		14		16		19	0	20
	2409	0,999	2238	0,999	2068	1,000	1896	0,998	1725	0,999	1558	0,999	1388	0,996
Slump	8,5		9,0		8,0		7,5		9,5		9,0		9,5	
a/c corrigido	0,49		0,48		0,46		0,45		0,44		0,43		0,43	0,43
Data da Moldagem	24/10/2014		24/10/2014		24/10/2014		24/10/2014		01/12/2014		01/12/2014		01/12/2014	

Fonte: Elaborado pelo autor (2015)

A Tabela 5 mostra os valores em volume e em massa dos traços de concreto desenvolvidos com PET. Observa-se que existe um traço denominado **Traço 1** que foi o traço piloto/padrão que serviu como balizador para os teores de PET que foram substituídos gradativamente na massa de concreto e variaram entre 10% e 60%. Estas dosagens foram denominadas respectivamente de **Traço 2**, **Traço 3**, **Traço 4**, **Traço 5**, **Traço 6** e **Traço 7**. O PET foi substituído por agregado natural, tanto na dimensão areia quanto na dimensão de brita e estes ocorreram em iguais proporções.

Foi também executada uma bateria de traços sem adição de PET conforme descrito na Tabela 6 que objetivou encontrar o traço ideal sem PET, que na sequência foi comparado com o traço ideal contendo adição de PET.

Tabela 6 – Traço em peso e volume dos concretos dosados sem adição de PET

Tabela de traços de concreto sem adição de PET								
Materiais	Traço 8		Traço 9		Traço 10		Traço 11	
	kg	volume	kg	volume	kg	volume	kg	volume
Cimento	439	146	364	121	312	104	272	90
Areia 1 - quartzo	198	74	218	82	234	88	245	92
Areia 2- britada	461	173	510	191	546	204	571	214
Brita 1	1098	410	1092	407	1092	407	1088	406
Resíduo de PET	0	0	0	0	0	0	0	0
Água	198	198	197	197	197	197	196	196
Aditivo 1	0	0	0	0	0	0	0	0
Aditivo 2	0	0	0	0	0	0	0	0
Ar incorporado (%)	1,0		1,0		1,0		1,0	
Slump (cm)	10		9,5		10		10	
Relação A/C	0,45		0,54		0,63		0,72	
Data da moldagem	02/12/2014							

Fonte: Elaborado pelo autor (2015)

Na Tabela 6 são apresentados os valores em volume e em massa dos traços sem PET. Estes traços foram denominados de **Traço 8**, **Traço 9**, **Traço 10** e **Traço 11**.

Para a execução das dosagens, os materiais foram individualmente pesados em balança de precisão e adicionados para homogeneização em betoneira elétrica com capacidade para 280 litros. Os materiais foram dispostos na betoneira na seguinte ordem para o concreto com adição de PET: 1) 100% do volume de agregado graúdo, 2) 70% da água de amassamento, 3) 100% do volume de cimento, 4) 100% do volume das areias e 5) 30% restante da água de amassamento juntamente com os aditivos, nos casos dos concretos com PET.

Em uma segunda etapa foram dosados os concretos sem o PET. Os materiais foram pesados em balança de precisão conforme os traços anteriores com PET e seguiram praticamente a mesma sequência para adição na betoneira, com exceção dos aditivos que neste grupo não foram utilizados como explanado anteriormente.

Cada traço (com PET e convencional) foi homogeneizado e em seguida determinado o abatimento de tronco de cone (Slump) conforme NBR NM 67:1998 Concreto – “Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone” apresentado na Figura 16.



Figura 16 – Ensaio de determinação da consistência do concreto

Fonte: Elaborado pelo autor (2015)

3.2.2 Moldagem e armazenamento dos corpos de prova para o estudo do melhor traço

De acordo com o estabelecido na NBR 9781:2013, a moldagem dos corpos de prova atendeu as mesmas características e critérios de produção e fabricação dos blocos. Foram utilizados para a confecção dos corpos de prova as próprias fôrmas plásticas de manufatura dos blocos. O formato escolhido foi do Tipo I, que tem, segundo a norma técnica brasileira, o formato próximo ao retangular com a relação do comprimento pela largura igual a 2 com ± 3 mm de tolerância, conforme Figura 17 no qual está representada a largura (l) e o comprimento (c). Na figura 18 está representada a espessura (e). Este tipo de peça foi escolhido, por seu formato possibilitar a paginação dos blocos no pavimento de diversas maneiras como em fileira ou espinha de peixe.

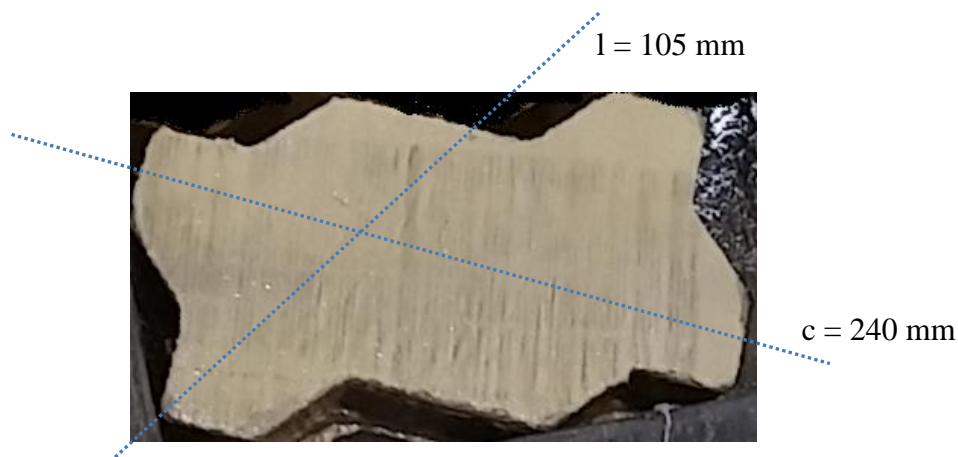


Figura 17- Vista da parte superior do bloco de concreto

Fonte: Elaborado pelo autor (2015)

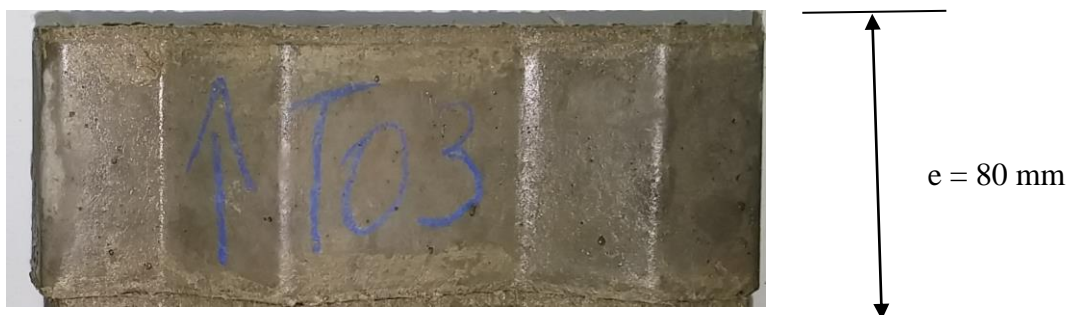


Figura 18- Elevação do bloco de concreto

Fonte: Elaborado pelo autor (2015)

O concreto foi previamente homogeneizado e em seguida os moldes foram preenchidos com a massa e na sequência adensados em uma mesa vibratória. Após as moldagens, as amostras foram identificadas e permaneceram em seus moldes por 24 horas. Decorrido este tempo os corpos de prova foram desformados e em seguida encaminhados para a realização da cura úmida do concreto.

A cura dos corpos de prova foram realizados em câmara úmida com umidade e temperaturas controladas e atenderam aos requisitos da ABNT NBR 9479:2006 “Argamassa e concreto - Câmaras úmidas e tanques para cura de corpos-de-prova”, com umidade acima de 95% e temperatura de $25 \pm 2^{\circ}\text{C}$ conforme ilustrado na Figura 19.

Os corpos de prova foram mantidos na câmara úmida e só foram retirados nas datas determinadas para a realização dos ensaios. O ensaio de compressão foi orientado pela ABNT

NBR 9781:2013– “Peças de concreto para pavimentação – Especificação e método de ensaio”
– Apêndice A.



Figura 19 - Vista interna da câmara úmida

Fonte: Autor (2015)

Para a avaliação das resistências à compressão dos blocos, foram moldados para cada um dos traços de 01 ao 11, um total de 04 blocos, sendo 02 corpos de prova para cada idade de 7 e 28 dias de acordo com a Tabela 7. Estas idades foram escolhidas para o acompanhamento da evolução da resistência do bloco ao longo do tempo de forma a se obter uma curva de incremento de resistência de cada dosagem realizada.

Tabela 7 – Quantidade de corpos de prova para cada idade

Traço	Ensaaios de Resistência à Compressão em blocos NBR 9781:2013		Total de corpos de prova
	7 dias	28 dias	
Traço 1 - PADRÃO SEM PET	2	2	4
Traço 2 com 10% de PET	2	2	4
Traço 3 com 20% de PET	2	2	4
Traço 4 com 30% de PET	2	2	4
Traço 5 com 40% de PET	2	2	4
Traço 6 com 50% de PET	2	2	4
Traço 7 com 60% de PET	2	2	4
Traço 8 - SEM PET	2	2	4
Traço 9 - SEM PET	2	2	4
Traço 10 - SEM PET	2	2	4
Traço 11 - SEMP PET	2	2	4
Total de Blocos Ensaiaados	22	22	44

Fonte: Elaborado autor (2015)

De acordo com a Tabela 7, foram moldados para todos os traços estudados um total de 44 blocos para ensaio da resistência à compressão, sendo que destes 22 foram ensaiados aos 7 dias e 22 aos 28 dias de idade. A Figura 20 ilustra o aspecto final dos corpos de prova com concreto ainda fresco e na Figura 21 os corpos de prova já endurecidos e preparados para armazenamento na câmara úmida

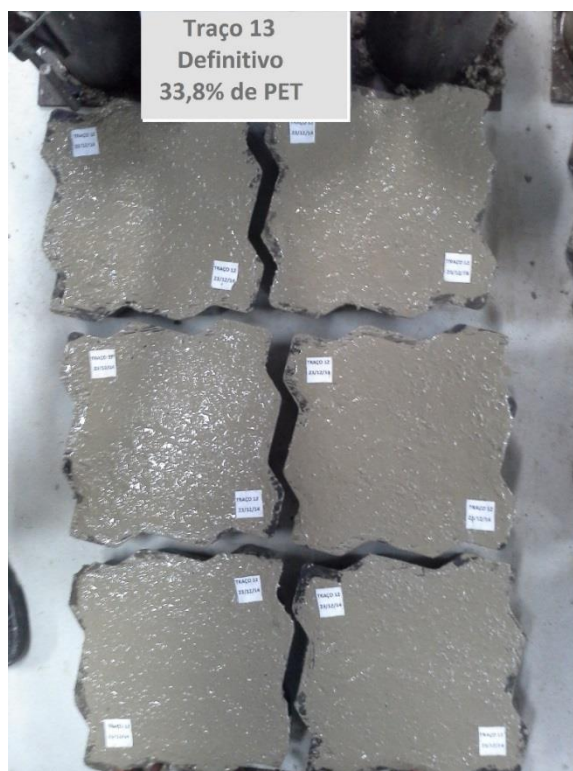


Figura 20 – Blocos logo após a moldagem em estado fresco

Fonte: Autor (2015)



Figura 21 - Blocos em estado endurecido já desenformados

Fonte: Elaborado autor (2015)

3.2.3 Ensaio de resistência característica à compressão dos blocos de concreto

Foi realizado o ensaio de resistência característica à compressão, com o objetivo de verificar a resistência do bloco de concreto para pavimento. O ensaio foi executado conforme a NBR 9781:2013 – “Peças de concreto para pavimentação – Especificação e método de ensaio – Anexo A”

Para a execução do ensaio foi utilizada uma prensa hidráulica que possui um dispositivo no qual o corpo de prova foi posicionado de maneira a receber um carregamento vertical contínuo com velocidade constante até ocorrer a ruptura do material. O equipamento de ensaio é uma prensa com capacidade de 200 toneladas provida de leitura eletrônica, servo controlada do fabricante EMIC, modelo PC200C que foi devidamente calibrada por um órgão acreditado pelo INMETRO.

Nas datas dos ensaios os corpos de prova foram retirados da câmara úmida e na sequência seus topos foram retificados de maneira a regularizar a superfície e manter o paralelismo entre as bases. Para este ensaio a planicidade da extremidade é importante para a correta distribuição das tensões que é aplicada por meio de uma máquina de ensaio.

3.3 CONFECÇÃO DO BLOCO INTERTRAVADO DEFINITIVO E VIABILIDADE TÉCNICA

Diante dos resultados obtidos de resistência à compressão aos 28 dias de idade dos blocos de pavimento foram formados dois grupos, referentes a cada dosagem de concreto estudado. Um grupo foi constituído das dosagens do Traço 2 ao Traço 7 contendo PET e um segundo grupo foi formado pelos concretos do Traço 8 ao Traço 11 sem adição de PET. Para cada grupo foi elaborado um gráfico que por interpolação linear resultou: no grupo 1 o valor ideal de porcentagem de PET e no grupo 2 o traço ideal sem adição de PET. O parâmetro utilizado na interpolação foi a resistência mínima adotada para o estudo em referência e exigida na NBR 9781:2013, que especifica o valor de resistência característica estimada de 35 MPa aos 28 dias de idade, conforme ilustrado na Figura 22. Os valores retirados do

gráfico foram utilizados para a dosagem do novo traço de concreto com PET e sem PET e para a confecção das novas amostras de ensaio.

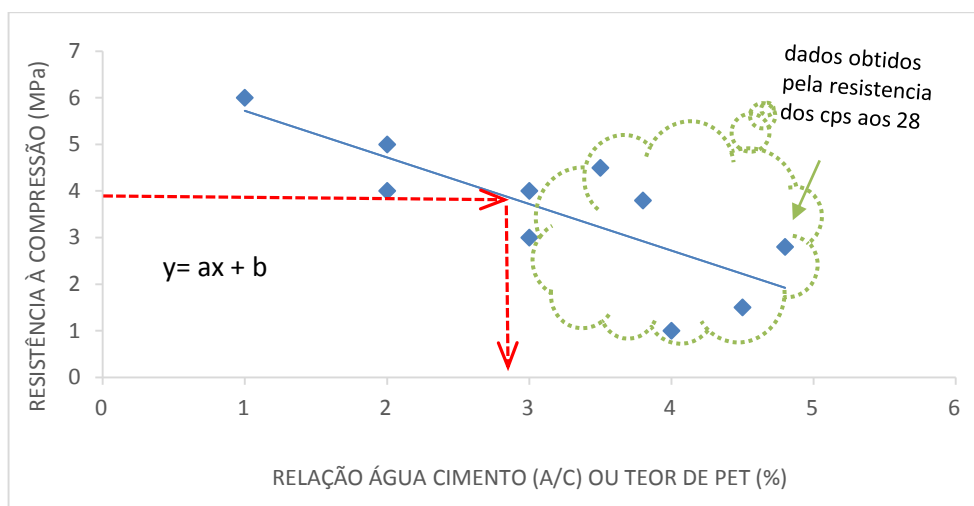


Figura 22 – Ilustração da metodologia para definição dos traços ideais

Fonte: Elaborado autor (2015)

A partir das dosagens obtidas por meio do método demonstrado da Figura 22 (Traço 12 sem PET e Traço 13 com PET), para cada uma delas foram moldados um total de 15 blocos de concreto para a execução dos ensaios de resistência à compressão axial e de absorção, de acordo com a descrição da Tabela 8.

Tabela 8 – Quantidade de corpos de prova para cada idade e ensaio

Traço	Ensaio de Resistência à Compressão e Absorção			
	7 dias (NBR 9781)	28 dias (NBR 9781)		Total de corpos de prova (NBR 9781)
	Compressão	Compressão	Absorção	
Traço 12 SEM PET	6	6	3	15
Traço 13 COM PET	6	6	3	15

Fonte: Elaborado autor (2015)

De acordo com a descrição da Tabela 8, para cada um dos traços ideais com PET e sem PET, foram moldados 12 corpos de prova para ensaio de resistência à compressão nas idades

de 7 e 28 dias e 3 corpos de prova para a realização do ensaio de absorção aos 28 dias de idade. Os blocos de concreto foram moldados seguindo os requisitos de ABNT NBR 9781:2013 “Peças de concreto para pavimentação – Especificação e métodos de ensaio”. Conforme o especificado pela norma brasileira, aos 28 dias de idade, os corpos de prova de pavimento intertravado, foram submetidos aos ensaios de resistência à compressão e de absorção.

Na Figura 23 são apresentados os corpos e prova moldados com o concreto ainda fresco dos Traços 12 sem PET e Traço 13 com PET

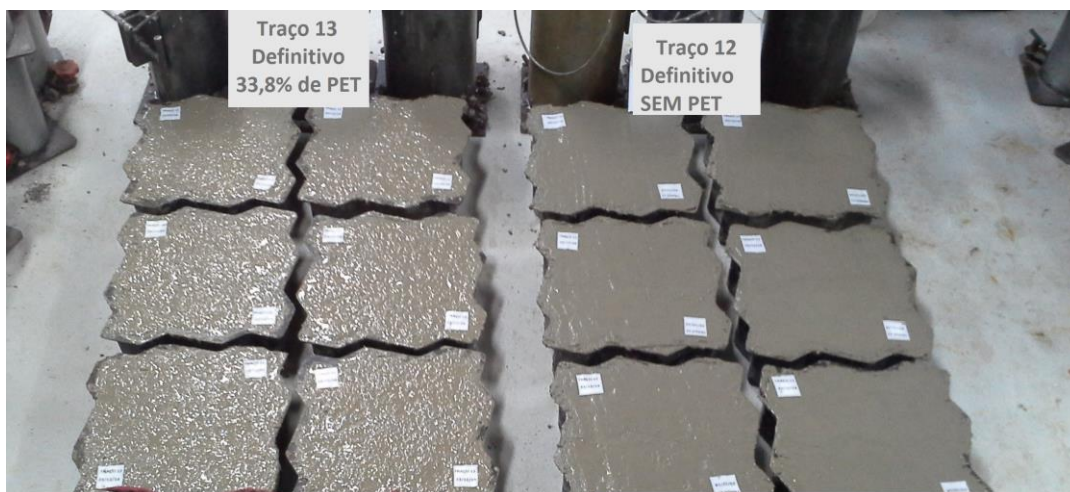


Figura 23 - Corpos de prova moldados com os traços definitivos de concreto com PET e sem PET

Fonte: Elaborado autor (2015)

3.4 ESTUDO DO CUSTO DE PRODUÇÃO DOS BLOCOS COM PET E DO BLOCO CONVENCIONAL, COMPARATIVO DOS VOLUMES DE SUBSTITUIÇÃO DE AGREGADOS E INSERÇÃO DOS VALORES OBTIDOS NO CONTEXTO AMBIENTAL

Decorrida a etapa de validação técnica e com base nos consumos dos materiais empregados nas dosagens do concreto definitivo dos Traço 12 sem PET e Traço 13 com PET, foi realizada uma verificação da estimativa de custos de produção para o bloco com PET e o bloco sem PET.

Na sequência foi realizada uma verificação dos possíveis ganhos ambientais do bloco de concreto com PET em relação ao bloco sem PET. Diante dos dados obtidos, estes foram extrapolados para a realidade da construção civil e foi levantada a quantidade de resíduo que poderia ser reciclado e dos insumos não renováveis que poderiam ser mitigados.

4. APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÕES DOS RESULTADOS

Neste item são apresentados os resultados dos ensaios realizados em laboratório bem como a verificação da viabilidade técnica, dos custos de produção do bloco de concreto com PET e sem PET, e vantagens ambientais.

4.1 ENSAIOS DE LABORATÓRIOS

Todos os agregados, cimento e resíduos de PET foram submetidos a análise física em laboratório acreditado pelo INMETRO e a seguir são apresentadas estes resultados e suas análises.

4.1.1 Caracterização dos materiais

Todas as caracterizações dos materiais utilizados na confecção dos concretos do estudo foram orientadas por suas respectivas normas brasileiras vigentes.

4.1.1.1 Amostra de cimento

Na amostra de cimento utilizada para o estudo de dosagem foram obtidos os seguintes ensaios e seus resultados especificados na Tabela 9.

Tabela 9 – Ensaios físicos na amostra de cimento

Análises físicas do cimento CP V ARI Plus				
Resistência à compressão axial				
Idade	Tensão obtida	Tensão média	Parâmetros da norma	DRM- Desvio relativo máximo
(dias)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	%
1	20,6	20,6	≥ 14	0,50%
	20,7			
	20,6			
	20,6			
3	39,9	38,8	≥ 24	2,80%
	38,4			
	38,3			
	38,6			
7	41,3	40,9	≥ 34	1,00%
	40,6			
	41,0			
	40,7			
Área Específica		4626,00 cm²/g		
Finura # 0,075mm		0,16%		
Massa Específica		3,06 g/cm³		
Tempos de início e fim de pega				
	Obtido		Parâmetros da norma	
Início	3:00 h		mínimo = 1h	
Fim	4:30 h		máximo = 10h	

Fonte: Elaborado pelo autor (2015)

Na Tabela 9 são apresentados os resultados dos ensaios de massa específica, consistência normal, início e fim de pega, finura, resistência à compressão axial e determinação da área específica - Blaine. Todos os resultados obtidos atenderam aos parâmetros exigidos no recebimento do cimento Portland de alta resistência inicial (CP V - ARI) segundo a ABNT NBR 5733:1991 – “Cimento Portland de alta resistência inicial”.

4.1.1.2 Amostra do agregado graúdo e miúdo

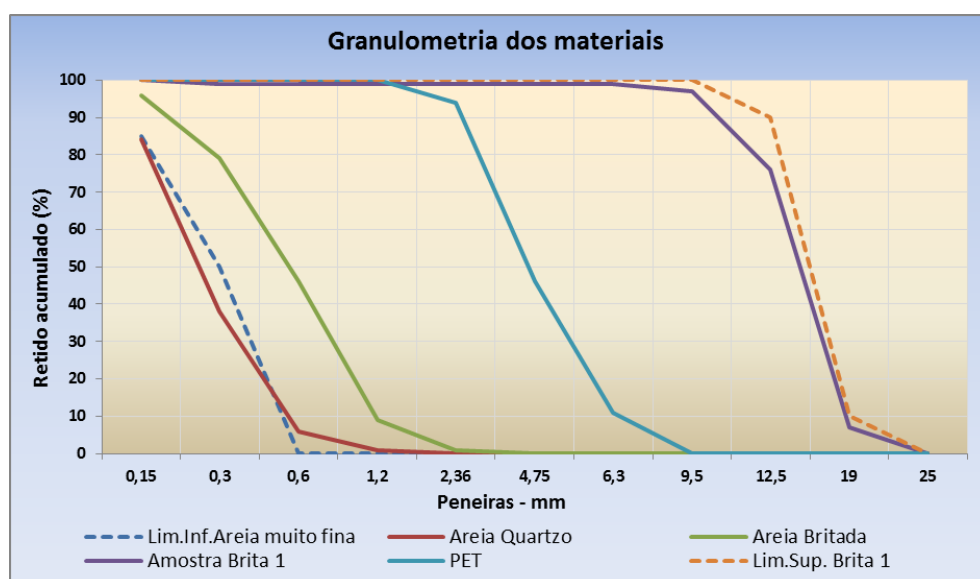
Nos agregados naturais miúdos (areias) e graúdo (brita 1), foram obtidos os resultados dos ensaios de granulometria, determinação do módulo de finura e dimensão máxima dos agregados, conforme apresentado na Tabela 10.

Tabela 10 – Ensaio de caracterização dos agregados

Análise Granulométrica - Modulo de Finura - Dimensão Máxima						
	Brita 1		Areia Britada		Areia de Quartzito	
Peneiras (mm)	retido	acumulado	retido	acumulado	retido	acumulado
	%		%		%	
25,0	0	0				
19,0	7	7				
12,5	69	76				
9,5	21	97				
6,3	2	99				
4,8	0	99	0	0		
2,4	0	99	1	1	0	0
1,2	0	99	8	9	1	1
0,6	0	99	37	46	5	6
0,3	0	99	33	79	32	38
0,15	0	99	17	96	46	84
fundo < 0,15	1	100	4	100	16	100
Módulo de finura	6,98		2,31		1,29	
Dmax= mm	25,0		2,4		1,2	

Fonte: Elaborado pelo autor (2015)

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 10, verificou-se que tanto as areias quanto a brita 1 utilizados nos estudos se enquadraram aos parâmetros descritos na NBR 7211:2009 – “Agregados para concreto – Especificação”, que especifica os requisitos exigíveis para recepção e produção dos agregados miúdos e graúdos destinados à produção de concretos de cimento Portland. Na Figura 25 são mostradas as curvas granulométricas de todos os agregados naturais.

**Figura 24 – Curva granulométrica dos agregados naturais**

Fonte: Elaborado pelo autor (2015)

As curvas granulométricas apresentadas na Figura 24, apresentam o enquadramento dos agregados dentro do limite superior da brita 1 e inferior da areia muito fina. Pode-se observar que o PET se enquadra no meio das faixas mínimas e máximas.

Os resultados da determinação da massa unitária em estado solto, teor de argila em torrões e materiais friáveis, determinação do teor de partículas finas passantes na peneira 75 μ m, teor de impurezas orgânicas, massa específica e absorção são apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 – Ensaios físicos nos agregados naturais

Outros ensaios nos agregados miúdos e graúdo			
Ensaios	Brita 1	Areia natural	areia britada
Massa Unitária - Estado Solto (kg/m ³) - NBR NM 45:2006	1379	1504	1336
Teor de Argila em Torrões e Materiais Friáveis (%) - NBR NM 7218:2010	0	0,01	0,22
Material fino passante na peneira μ m 75 (%) - NBR NM 46:2003	0,6	2,0	2,0
Impurezas orgânicas húmicas (ppm) - NBR NM 49:2001		mais clara	mais clara
Massa Específica (g/cm ³) - NBR NM 53:2009	2,68	2,66	2,67
Absorção de água (%) - NBR NM 53:2009	0,9	0,8	1,4
NOTA: Todos os ensaios atenderam aos parâmetros normativos			

Fonte: Elaborado pelo autor (2015)

Os resultados obtidos nos ensaios de agregados naturais descritos na Tabela 11 atenderam aos parâmetros descritos na NBR 7211:2009 – “Agregados para concreto – Especificação”, que especifica os requisitos exigíveis para recepção e produção dos agregados miúdos e graúdos destinados à produção de concretos de cimento Portland.

4.1.1.3 Amostra de PET

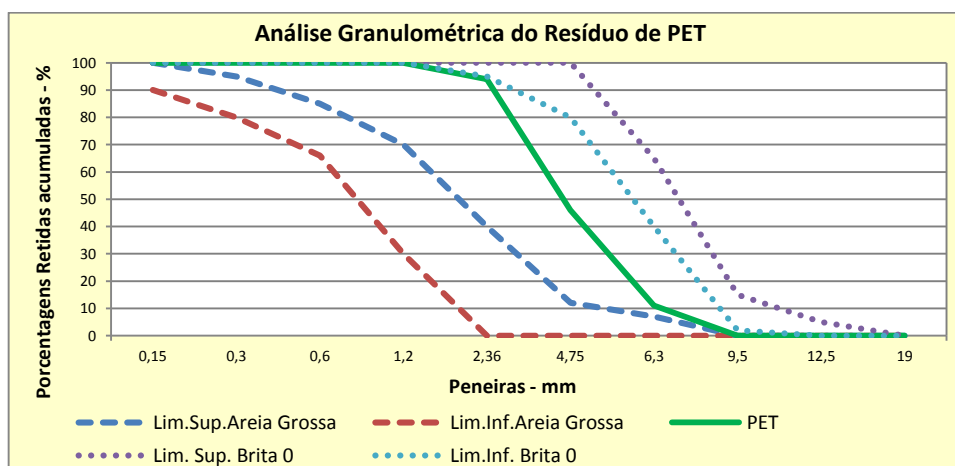
Na amostra de PET foram realizados ensaios de granulometria e massa unitária em estado solto e os resultados são apresentados na Tabela 12 e a curva granulométrica na Figura 25.

Tabela 12 – Caracterização do PET

Análise Granulometria NBR NM 248:2001									
Material	Resíduo de PET								
Abertura da Peneiras - mm									
	9,5	6,3	4,75	2,36	1,2	0,6	0,3	0,15	fundo
% Retida	0	11	35	48	6	0	0	0	0
% Acumulada	0	11	46	94	100	100	100	100	100
Módulo de Finura			5,4						
Dimensão Máxima			9,5 mm						
Massa unitária no estado solto - NBR NM 45:2006					300 kg/m3				

Fonte: Elaborado pelo autor (2015)

É possível observar na Tabela 12, que o PET não apresenta teor de finos abaixo da peneira de # 1,2 mm, concentrando seu maior percentual retido nas peneiras # 2,36 mm e # 4,75 mm e uma quantidade excessiva na peneira # 6,3 mm o que fez com que o agregado fosse classificado com uma dimensão máxima fora dos parâmetros para areia e com módulo de finura característico de brita 0.

**Figura 25 – Curva de distribuição granulométrica do PET utilizado**

Fonte: Elaborado pelo autor (2015)

A curva de distribuição granulométrica do PET apresenta uma característica singular para um agregado classificado como miúdo, mas que em virtude da forma do grão enquadrou-se em uma faixa inexistente nas normas brasileiras para agregados. Na Figura 25 são mostrados como parâmetro inferior as curvas da faixa mínima e máxima da areia grossa e

como parâmetro superior as curvas da faixa mínima e máxima da brita 0. O PET em flocos enquadrou-se entre elas.

4.1.2 Resultado do estudo de dosagem

Para os estudos de dosagem foram dosados ao todo 11 traços, sendo 1 traço piloto/padrão, que foi utilizado como referência para determinar o teor ideal de argamassa e água para atender a trabalhabilidade necessária para a confecção dos blocos de concreto para pavimento uma vez que eles foram moldados em formas plásticas padrão e adensados manualmente sem necessidade de utilização de vibroprensa, usualmente utilizada em fábricas de blocos.

Após esta primeira etapa foram estudados dois grupos distintos. O primeiro grupo foi composto por traços de concreto utilizando o PET como substituição parcial dos agregados naturais e o segundo grupo com traços sem utilização de PET. A Tabela 13 a seguir mostra os traços de 1 a 7.

Tabela 13 - Traço padrão e traços com PET

Estudo de traço de concreto para piso intertravado com substituição de agregados por resíduos de PET														
Materiais	Traço 1		Traço 2- 10%		Traço 3- 20%		Traço 4- 30%		Traço 5- 40%		Traço 6- 50%		Traço 7- 60%	
	kg	volume (L)	kg	volume (L)	kg	volume (L)	kg	volume (L)	kg	volume (L)	kg	volume (L)	kg	volume (L)
Cimento	357	119	357	119	357	119	357	119	357	119	357	119	357	119
Areia 1- quartzo	233	88	210	79	186,4	71	163	62	140	53	117	44	93	35
Areia 2- britada	550	206	495	185	440	165	385	144	330	124	275	103	220	82
Brita 1	1090	407	981	366	872	325	763	285	654	248	545	206	436	164
PET-granulado	0	0	21	70	42	140	63	209	84	279	105	349	126	419
Água	175	175	170	170	166	166	161	161	156	156	155	155	152	152
Aditivo 1 (0,6%)	2,142	0,714	2,142	0,714	2,142	0,714	2,142	0,714	2,142	0,714	2,142	0,714	2,142	0,714
Aditivo 2 (0,2%)	0,714	0,238	0,714	0,238	0,714	0,238	0,714	0,238	0,714	0,238	0,714	0,238	0,714	0,238
Ar incorporado				5		10		14		16		19	0	20
	2408	0,996	2237	0,996	2066	0,996	1895	0,995	1724	0,996	1556	0,996	1387	0,992
Slump (mm)	85		90,0		80,0		75		95		90,0		95	
a/c corrigido	0,49		0,48		0,46		0,45		0,44		0,43		0,43	

Fonte: Elaborado pelo autor (2015)

Conforme apresentado na Tabela 13, o Traço 1 é isento de PET e os demais traços tiveram a incorporação do PET em proporções que variaram entre 10 e 60 %. Verificou-se que o ensaio de Slump manteve-se praticamente constante durante a variação do teor de adição do PET e que os traços com adição de PET demandaram uma quantidade um pouco menor de água em relação ao traço padrão, variando de 3 a 5 l/m³ a cada 10% de substituição. Os teores de aditivos utilizados mantiveram-se constantes em todos os traços assim como o consumo de cimento. Na medida que se aumentou o teor de PET nos traços de concreto, verificou-se também um acréscimo do teor de ar incorporado de cada dosagem, porém estes aumentos mostraram-se insignificantes para o comportamento do concreto.

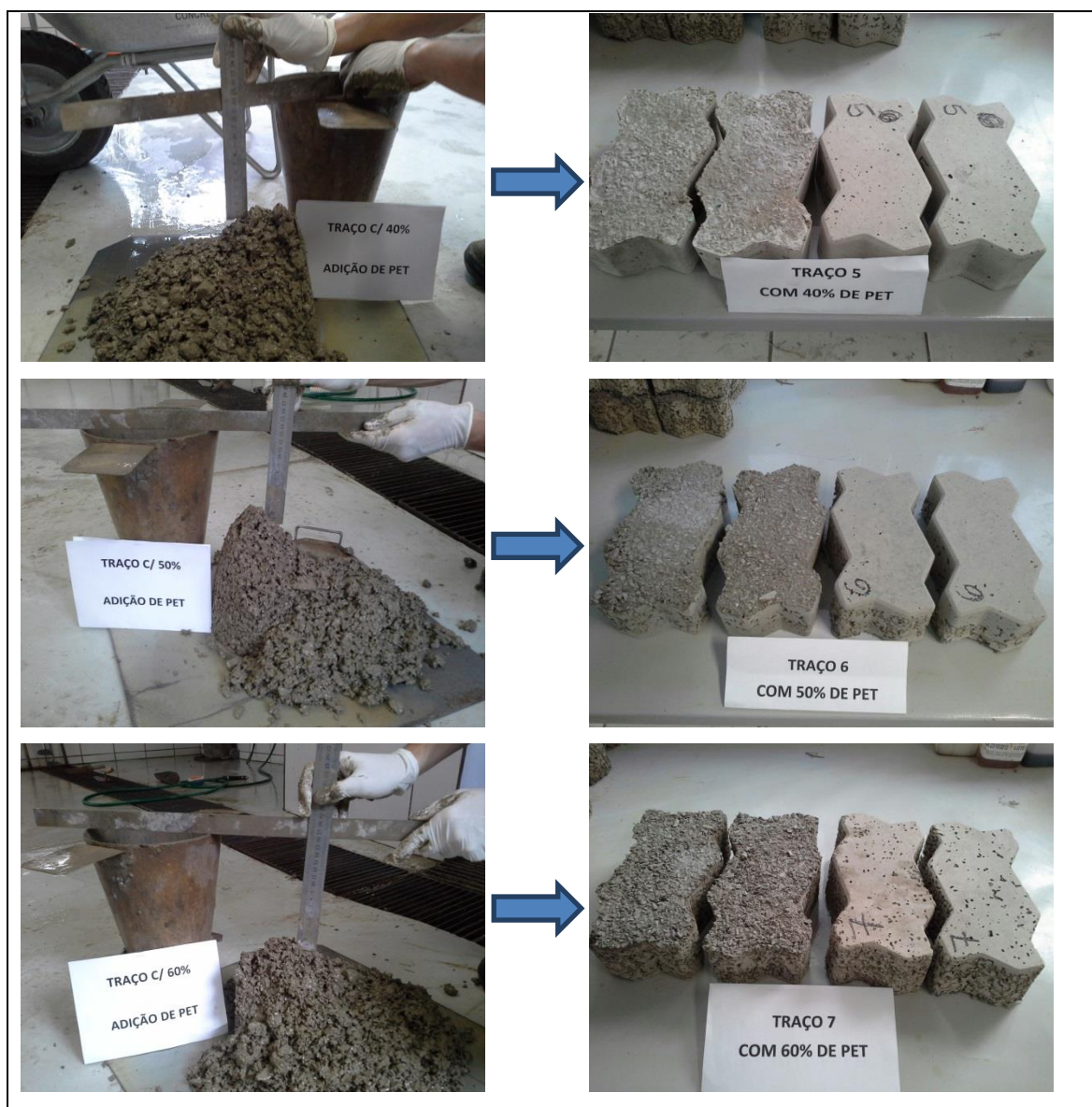


Figura 26 – Ensaio de abatimento no concreto fresco e blocos de concreto endurecido

Fonte: Elaborado pelo autor (2015)

Durante a execução das dosagens observou-se que a partir do teor de 40% de substituição de agregados naturais por resíduos de PET a plasticidade começou a ficar bastante comprometida, dificultando a execução do ensaio de abatimento (Slump) e também a moldagem dos corpos de prova, que passaram a apresentar vazios em excesso.

Na Figura 26 são apresentados do lado esquerdo os ensaios de abatimento e do lado direito os blocos de concreto endurecido com os teores de 40, 50 e 60% de substituição de agregados naturais por PET, sendo possível observar, em uma análise visual, uma severa segregação no concreto fresco e uma elevada quantidade de vazios no concreto endurecido.

O segundo grupo de estudo foi formado pelos concretos sem adição de PET, que foram dosados com o objetivo de encontrar o traço ideal convencional que foi comparado ao concreto ideal com adição de PET. A Tabela 14 a seguir descreve os traços de 8 a 11.

Tabela 14 – Traços dosados sem PET

Curva de traço SEM adição de PET				
Materiais	Traço 8	Traço 9	Traço 10	Traço 11
	kg/m ³			
Cimento	439	364	312	272
Areia 1- quartzo	198	218	234	245
Areia 2- artificial	461	510	546	571
Brita 1	1098	1092	1092	1088
Resíduo de PET	0	0	0	0
Água	198	197	197	196
Aditivo 1 (0,6%)	0	0	0	0
Aditivo 2 (0,2%)	0	0	0	0
Ar incorporado	1,1	1,2	1,2	1,3
Slump (mm)	110	95	100	100
Água-cimento (a/c)	0,45	0,54	0,63	0,72

Fonte: Elaborado pelo autor (2015)

Observando a Tabela 14 são apresentados quatro traços com variação do consumo de cimento entre 272 e 439 kg/m³, para relações água cimento (a/c) entre 0,45 e 0,72 respectivamente. Neste grupo não foi necessário utilizar aditivo para concreto por terem sido atingidas as plasticidades necessárias sem adição dos mesmos. O ar incorporado se manteve constante em todos os traços estudados.

4.1.3 Resultado dos ensaios de compressão dos traços estudados.

Os ensaios de resistência à compressão dos blocos foram conduzidos de acordo com as orientações da NBR 9781:2013. Os resultados dos traços de concreto com adição de PET podem ser observados na Tabela 15 a seguir.

Tabela 15 – Resultados dos ensaios de resistência a compressão dos Traços 1 (padrão) e Traços 2 ao 7 com substituição do PET

Ensaio de Resistência à Compressão Axial em Peças de Concreto para Pavimento														
Idade	Traço 1		Traço 2		Traço 3		Traço 4		Traço 5		Traço 6		Traço 7	
	CP 1	CP 2	CP 1	CP 2	CP 1	CP 2	CP 1	CP2	CP 1	CP 2	CP 1	CP2	CP 1	CP2
7 dias	56,3	56,0	49,1	48,1	43,1	43,6	37,5	38,5	26,2	25,9	24,0	24,7	14,5	15,4
28 dias	58,1	58,4	53,7	50,6	46,5	44,6	40,8	42,9	28,5	28,7	25,1	25,2	15,7	16,1

Fonte: Elaborado pelo autor (2015)

De acordo com a Tabela 15 são apresentados os valores de resistência à compressão nas idades de 7 e 28 dias para os traços padrão sem PET e para os traços de concreto de 2 a 6 dosados com adição de PET. O traço padrão iniciou apresentando resultados de resistência aos 28 dias de idade 10% superiores aos resultados obtidos no Traço 2 com adição de 10 % de PET, e 78 % superiores ao Traço 7 com substituição de 60% de PET. Na medida que foi sendo feita a substituição dos agregados naturais por PET a resistência foi caindo sistematicamente. Apesar da perda de resistência, até o Traço 4 (substituição de 30% por PET) foram obtidos resultados bastante elevados quando comparados a um concreto convencional. O objetivo do estudo deste grupo foi verificar o comportamento do bloco de concreto quanto à resistência à compressão e encontrar o teor ideal de PET para atender as especificações da norma técnica de peças para pavimento de concreto.

O segundo grupo estudado foram os traços de concreto sem adição de PET. Na Tabela 16 são apresentados os valores dos ensaios de resistência à compressão dos blocos confeccionados.

Tabela 16 - Resultados dos ensaios de resistência a compressão dos Traços 8 ao 11 sem substituição do PET

Ensaio de Resistência à Compressão Axial em Peças de Concreto para Pavimento								
Idade	Traço 8		Traço 9		Traço 10		Traço 11	
	CP 1	CP 2	CP 1	CP 2	CP 1	CP 2	CP 1	CP 2
7 dias	42,2	39,4	38,4	39,6	31,3	30,2	25,6	27,1
28 dias	45,6	44,9	42,3	41,0	34,2	33,2	28,5	30,8

Fonte: Elaborado pelo autor (2015)

Analisando a Tabela 16, observa-se valores coerentes e esperados nos estudos de dosagem para os traços sem adição de PET, pois nesta etapa objetivou-se atingir o valor mínimo de resistência estipulado na NBR 9781:2013 para o uso do bloco de pavimento de concreto. O objetivo do estudo deste conjunto foi encontrar o traço ideal sem PET.

Após a etapa dos ensaios de resistência a compressão, os resultados relativos aos 28 dias de idade, dos grupos 1 e 2, foram plotados nos seus respectivos gráficos de resistência no quais foram retirados para o grupo 1 o teor ideal de PET e a resistência de acordo com a Figura 27 e para o grupo 2 a resistência buscada de 38,3 MPa, calculada de acordo com a fórmula da resistência característica da dosagem ($f_{cj} = f_{ck} + 1,65 \cdot S_d$) conforme indicado no Figura 28.

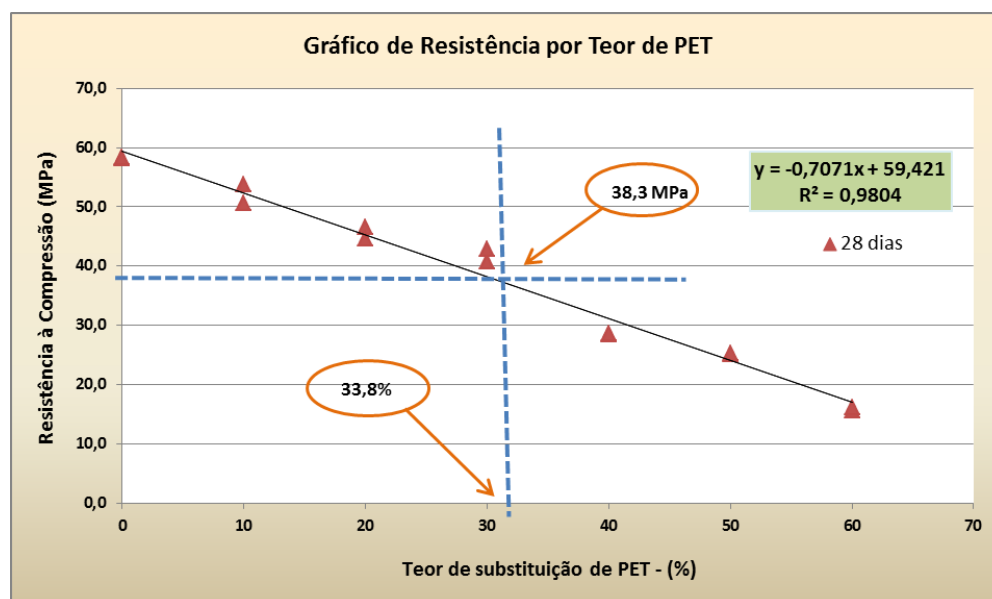


Figura 27 - Grupo 1: Gráfico de resistência à compressão por teor de PET

Fonte: Elaborado pelo autor (2015)

Depois de obtido os resultados de resistência para os traços com adição de PET, demonstrados na Tabela 15, foi elaborado o gráfico da Figura 27 em que foi possível, a partir da resistência buscada para os 28 dias de idade, encontrar o teor ideal de PET que deu origem ao traço definitivo denominado Traço 13 com o teor de 33,8 % de PET.

Este teor encontrado no gráfico comprovou que a faixa ideal, que contemplou a melhor resistência à compressão aos 28 dias de idade aliada ao maior teor de PET possível, ficou concentrada entre o intervalo de substituição de 30% (Traço 4) e 40% (Traço 5) de PET conforme indicado anteriormente na Tabela 15.

Com os resultados de resistência para os traços sem adição de PET, conforme apresentado na Tabela 16, foi elaborado o gráfico da Figura 28 apresentado a seguir, em que a partir da resistência buscada para os 28 dias de idade, encontrou-se a relação água cimento (a/c) ideal de 0,58 para o traço definitivo (Traço 12) sem adição de PET.

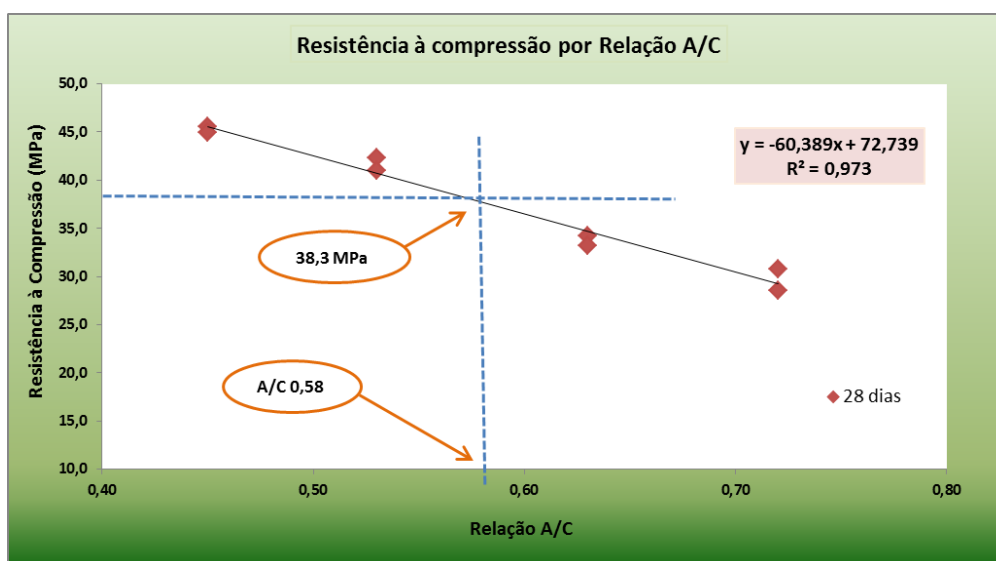


Figura 28 - Grupo 2: gráfico de resistência à compressão por relação água-cimento

Fonte: Elaborado pelo autor (2015)

A partir dos gráficos demonstrados nas Figuras 27 e 28, foram retiradas as informações necessárias a um novo grupo de dosagem formado com as frações ideais de materiais para o comparativo entre o concreto com PET e sem PET definitivo.

4.2 BLOCOS DEFINITIVOS DE CONCRETO PARA PAVIMENTO INTERTRAVADO E VERIFICAÇÃO DA VIABILIDADE TÉCNICA

Com os dados retirados dos gráficos do grupo 1 e grupo 2, foi formado um novo grupo de dosagem constituídos pelos traços definitivos de concreto com PET (Traço 13) e sem PET (Traço 12), conforme descrito na Tabela 17. Estes traços foram dosados e destas misturas foram moldados novos blocos definitivos de concreto com o objetivo de verificar a viabilidade técnica do PET como substituto de parte dos agregados naturais.

Tabela 17 - Traços definitivos 12 e 13 em peso

Traços Definitivos				
Materiais	Traço 12		Traço 13	
	Sem adição de PET		Com adição de 33,8% PET	
	kg/m ³	l/m ³	kg/m ³	l/m ³
Cimento	336	111,6	357	118,9
Areia 1-Quartzo	337	126,7	154	57,9
Areia 2- Britada	505	189,1	364	136,3
Brita 1	1005	375	721	269
PET em flocos	0	0	72,2	235,9
Água	197	197	175	175
Aditivo 1 (0,6%-SMC)	0	0	2,142	2,142
Aditivo 2 (0,2% -SMC)	0	0	0,714	0,714
Slump (mm)	105		100	
Relação a/c	0,586		0,490	
Ar Incorporado	1,2		1,1	

Fonte: Elaborado pelo autor (2015)

Analisando os dados da Tabela 17, verificou-se que o consumo de cimento do traço 13 com PET foi superior em 21kg/m³ com relação ao traço 12 sem PET. Este fato pode ser explicado porque, quando da adição de PET, em substituição a parte dos agregados naturais, uma parcela da resistência do conjunto foi comprometida pois substituiu-se uma matriz de rocha resistente por resíduos de PET que possuem uma baixa resistência e para obter-se as resistências equivalentes foi necessário a compensação com o cimento. O teor de ar incorporado de cada mistura praticamente não mostrou variação. A consistência e a trabalhabilidade do traço 12 mostrou-se mais homogêneo e coeso que o traço 13, pois o PET

apresentou-se como um material muito lamelar, com um índice de forma muito irregular e sem absorção, conforme apresentado na Figura 29.



Figura 29 – Comparativo entre as consistências do traço 12 e 13

Fonte: Elaborado pelo autor (2015)

4.2.1 Resultados dos ensaios de resistência característica à compressão dos blocos manufaturados com os traços definitivos dos concretos

Nas idades especificadas aos 7 e 28 dias de idade os blocos de concreto moldados com os traços definitivos (Traço 12 sem PET e Traço 13 com PET) foram ensaiados à compressão conforme especificado na NBR 9781:2013. A Tabela 18 apresenta os resultados do ensaio de resistência característica à compressão.

Tabela 18 – Resultados de resistência à compressão dos Traços 12 e 13

Resistência à Compressão dos Traços Definitivos- MPa				
Numero CP	Traço 12		Traço 13	
	SEM PET		COM 33,8% PET	
	7 dias	28 dias	7 dias	28 dias
CP 1	35,3	39,7	38,1	43,2
CP 2	37,5	39,9	37,7	40,6
CP 3	37,5	43,2	38,0	42,2
CP 4	36,7	41,5	36,7	39,9
CP 5	38,2	38,7	37,0	42,3
CP 6	37,0	38,2	38,5	41,3
Média	37,0	40,2	37,7	41,6
Devio Padrão (%)	1,0	1,9	0,7	1,2
Coef. Variação (MPa)	2,7	4,6	1,8	2,9
f_{pk,est} - 28 dias	38,5 MPa		40,5 MPa	

Fonte: Elaborado pelo autor (2015)

Analisando os resultados da Tabela 18, dos ensaios de compressão realizados nos blocos de concreto nas idades de 7 e 28 dias observa-se que cada idade foi composta por 6 corpos de prova. Foi calculado o f_{pk} , estimado dos blocos, o desvio padrão, coeficiente de variação e a média dos resultados. Pode-se notar que as resistências do concreto com PET e sem PET foram muito semelhantes, o desvio padrão das amostras apresentaram-se dentro dos parâmetros previstos no cálculo das dosagens que foi $S_d = 2$ MPa e o coeficiente de variação abaixo de 5%. Na Figura 30 é mostrada a execução do ensaio de resistência à compressão de um bloco de concreto e na Figura 31 o corpo de prova já rompido.



Figura 30 – Ensaio de resistência à compressão em andamento

Fonte: Elaborado pelo autor (2015)



Figura 31 – Bloco de concreto com resíduo de PET.

Fonte: Elaborado pelo autor (2015)

Na Figura 31 é observada a presença do PET adicionado ao traço de concreto, pode-se visualizar a distribuição dos flocos de forma homogênea no interior do concreto. Na Figura 32 foi elaborado um gráfico representando as resistências médias aos 7 e 28 dias dos Traços 12 e 13.

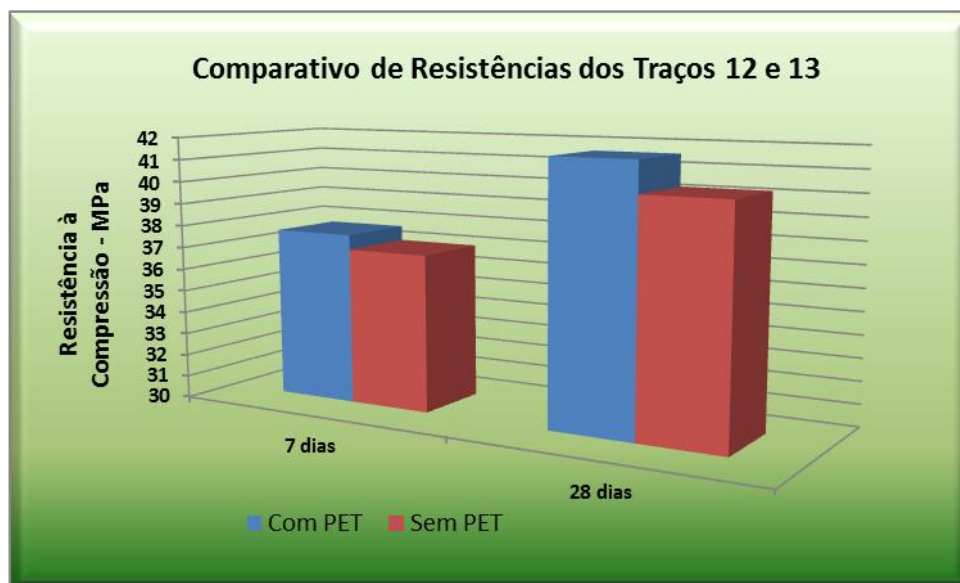


Figura 32 – Comparativo das resistências médias aos 7 e 28 dias do concreto dosado com PET e sem PET

Fonte: Elaborado pelo autor (2015)

Na Figura 32 verifica-se as resistências médias dos traços nas mesmas idades de ruptura de 7 e 28 dias. Comparando os Traços 12 e 13 podemos evidenciar que o traço com PET apresentou um melhor desempenho em ambas as idades com relação ao traço sem PET. Isto pode ser explicado pelo maior consumo de cimento do Traço 13 com PET.

4.2.2 Resultados dos ensaios de absorção dos blocos moldados com

4.2.3 os traços definitivos dos concretos

Foram realizados os ensaios de absorção de água nos blocos de concreto com PET e sem PET conforme a NBR 9781:2013 – Anexo B. Este ensaio representa a quantidade de água que penetra no bloco de concreto. Os resultados do ensaio estão descritos na Tabela 19.

Tabela 19 – Resultados dos ensaios de absorção de água nos blocos de concreto

Ensaio de Absorção de água				
Número do CP	Traço 12		Traço 13	
	Obtido (%)	Média (%)	Obtido (%)	Média (%)
1	5,0	5,0	5,7	4,9
2	5,2		4,7	
3	4,9		4,3	

Fonte: Elaborado pelo autor (2015)

Observando os resultados da Tabela 19, pode-se verificar que praticamente não houve diferença entre os teores de água absorvidos do Traço 12 sem PET e o Traço 13 com PET, portanto a absorção entre eles pode ser considerada igual, ou seja eles obtiveram a mesma penetração de água em seus poros permeáveis apesar do PET ser um material considerado impermeável.

4.3 ANÁLISE TÉCNICA DOS RESULTADOS

Para a aprovação do material proposto, foi necessário testar o bloco de concreto com PET para verificar o atendimento aos requisitos técnicos de resistência a compressão, tolerâncias dimensionais e absorção especificados na NBR 9781:2013.

Após a finalização dos ensaios de laboratório foi elaborada uma tabela comparativa entre os itens de exigências da norma brasileira vigente e os resultados obtidos. Na Tabela 20, são apresentados os resultados dos ensaios realizados nos traços definitivos com PET e sem PET, e os parâmetros normativos exigidos para a aprovação da viabilidade técnica dos blocos de concreto com PET e sem PET.

Tabela 20 – Avaliação dos resultados obtidos de acordo com a NBR 9781:2013

Critérios da NBR 9781:2013 para avaliação da viabilidade técnica			
Item analisado	Parâmetros da norma	Resultados obtidos	
		Traço 12	Traço 13
Inspeção Visual	Devem apresentar aspectos homogêneos	Atende	Atende
Dimensões e tolerâncias das peças	Deve atender quanto a medida nominal de: Comprimento c = máximo 250mm Largura l= mínimo 97 mm Espessura e= mínimo 60 mm	c= 240 l= 105 e= 80	c= 240 l= 105 e= 80
Tráfego de pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linha	≥ 35 MPa	38,5 MPa	40,5 MPa
Absorção de água	Deve apresentar valor médio ≤ 6%	5,0	4,9

Fonte: Elaborado pelo autor (2015)

Analisando os resultados obtidos na Tabela 20, pode-se concluir que tanto o bloco de concreto confeccionado com PET quanto o bloco de concreto confeccionado sem PET atenderam os parâmetros mínimos especificados na norma. Em todos os quesitos os dois tipos de bloco para pavimento alcançaram às exigências solicitadas, porém o material proposto (bloco com PET) obteve um valor de resistência superior ao bloco de concreto sem PET.

4.4 ESTIMATIVA DOS CUSTOS DE PRODUÇÃO DOS BLOCOS DE CONCRETO

Decorrida a etapa de validação técnica e com base nas quantidades de materiais empregados no consumo dos traços de concreto definitivos com PET e sem PET, foi realizado um estudo dos custos de produção referentes a manufatura do material proposto e do material convencional.

Para a elaboração da estimativa do custo de produção do bloco de concreto com PET e do bloco de concreto sem PET foram considerados alguns fatores relevantes ao processo produtivo como: i) os valores dos insumos considerados restringiram-se à cidade de São

Paulo; ii) os custos referentes à mão de obra não foram considerados por não terem relevância para este estudo, uma vez que, entende-se que a simples substituição de agregados não impactaria nos custos da mão de obra; iii) o valor do resíduo de PET foi obtido na usina que cedeu o material para a pesquisa; iv) para os demais insumos foi escolhido a tabela de índices e custos da editora PINI, por ser esta considerada uma referência para obtenção de preços na indústria da construção civil; v) a data base dos preços é de dezembro de 2014; vi) os preços considerados são posto obra ou seja independem do valor de frete. Na Tabela 21 foram relacionados os materiais e seus preços unitários.

Tabela 21 – Estimativa de custo dos insumos para a produção do bloco de concreto

Planilha de custos dos insumos por m ³ de concreto, m ² de bloco e unitário do bloco					
Materiais	Custo do insumo (R\$/kg)	Traço 12 - sem PET		Traço 13 - com 33,8% de PET	
		kg/m ³	custo por m ³	kg/m ³	custo por m ³
Cimento CP V ARI	0,3944	336	132,52	357	140,80
Areia natural	0,0403	337	13,58	154	6,21
Areia britada	0,0321	506	16,24	364	11,68
Brita 1	0,0363	1005	36,48	721	26,17
PET	1,90	0	0,00	72,2	137,18
Água	0,0227	197	4,47	175	3,97
Aditivo 1	1,97	0	0,00	2,142	4,22
Aditivo 1	6,84	0	0,00	0,714	4,88
Custo total do m ³ de concreto		R\$ 203,30		R\$ 335,12	
Custo total do m ² de bloco produzido		R\$ 16,39/m ²		R\$ 27,03/m ²	
Custo por unidade de bloco produzido		R\$ 0,41/un		R\$ 0,68/un	

Fonte: Elaborado pelo autor com dado da PINI (2015)

De acordo com a Tabela 21, verificou-se que o custo de produção do concreto com PET mostrou-se superior ao do concreto sem PET, isto ocorreu devido ao elevado preço do resíduo de PET em comparação aos preços dos agregados naturais. O custo da unidade do bloco com PET apresentou-se 65% superior ao custo do bloco sem PET.

4.5 POTENCIAL DE SUBSTITUIÇÃO DE AGREGADOS NATURAIS EM RELAÇÃO AO PET

Baseados nos Traços 12 e 13, foram quantificados os materiais naturais e o resíduo de PET empregados na confecção do bloco de concreto para pavimento intertravado. Diante destes volumes os dados foram extrapolados para a realidade da construção civil e foi levantada a quantidade de resíduo que seria reciclado no concreto e de insumos não renováveis que poderiam ser mitigados quando da utilização do bloco confeccionado com resíduo de PET em comparação com o convencional conforme descrito na Tabela 22.

Tabela 22 – Quantidades de materiais preservados no meio

Comparativo entre os Traços 12 sem PET e Traço 13 com PET			
Quantidade de materiais naturais preservados no meio ambiente			
	kg/m³	kg/m²	kg/bloco
Areia natural	183	14,8	0,369
Areia Britada	141	11,4	0,284
Brita 1	284	22,9	0,573
Quantidade de resíduo de PET reciclado no Traço 13			
	kg/m³	kg/m²	kg/bloco
PET	72,2	5,82	0,145

Fonte: Elaborado pelo autor (2015)

Observando a Tabela 22, ressalta-se que a utilização do concreto com PET permitiu deixar de consumir um total de 608 kg de agregados naturais não renováveis por metro cúbico de concreto utilizado, ou 49,1 kg de agregado por metro quadrado de pavimento ou seja 1,225 kg por unidade de bloco.

Utilizando-se da mesma analogia para o resíduo de PET, verifica-se pela Tabela 22, um comparativo entre os traços 12 e 13 e concluiu-se que quando utilizado o concreto com substituição de PET (Traço 13), este pode reciclar 72,2 kg de PET por metro cúbico de concreto produzido ou 5,82 kg de PET por metro quadrado de pavimento intertravado o que representa 0,145 kg de PET por unidade de bloco confeccionado. Fazendo uma analogia com garrafas de 2 litros de PET, podemos afirmar que utilizando-se o traço 13 com o percentual de substituição de agregados naturais por PET na proporção de 33,8%, estariam sendo recicladas 1.588 garrafas PET por metro cúbico de concreto produzido, representando 128 garrafas PET por metro quadrado de pavimento ou ainda 3,2 garrafas PET por unidade de bloco. Segundo

informação da usina de reciclagem de PET, e fornecedora das amostras para esta pesquisa, cada quilo de flocos de PET representa 22 unidades de garrafa PET de 2 litros.

5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES

De acordo com o proposto pela pesquisa:

- a) Quanto aos materiais utilizados para o estudo como os agregados naturais, cimento e aditivos, de acordo com seus ensaios de caracterização, estes atenderam a todos os parâmetros estabelecidos por norma para sua utilização na confecção de concreto.
- b) Durante o estudo de dosagem dos traços de concreto, foram verificados que a medida que os teores de adição do resíduo de PET foram aumentando na incorporação da massa de concreto, a trabalhabilidade e a consistência obtida no ensaio de abatimento do concreto fresco ia diminuindo. Este fato pode ter ocorrido devido as características físicas do resíduo de PET, que se apresentou lamelar, impermeável, com um índice de forma mais irregular que o material natural o que tornou a mistura de concreto composta com este resíduo menos homogênea que a mistura de concreto convencional. Saikia e de Brito (2014) estudando misturas de concreto com resíduos de PET também evidenciaram características semelhantes no estudo conduzido. Os autores constataram que a medida que foram aumentados os teores de resíduo de PET, menos coesão e trabalhabilidade a massa adquiria.
- c) Quanto às propriedades do concreto endurecido, pode-se constatar, por meio do ensaio de resistência à compressão dos corpos de prova, que a resistência à compressão diminuiu conforme aumentou o teor de PET incorporado no concreto. Estas resistências variaram entre 53,7 MPa com 10 % de PET até 16,1 MPa com 60% de PET. Provavelmente esta variação de resistência do concreto tenha ocorrido em função da diminuição dos teores de agregados naturais, que naturalmente possuem uma resistência própria, em detrimento ao resíduo de PET que não possui resistência significativa em sua propriedade. Demonstrou-se que é possível, com a incorporação do resíduo, obter-se resistências compatíveis ao do concreto convencional utilizado em estruturas de concreto com função estrutural. Modro *et al.*, (2009) estudando diversos traços de concreto com a adição do resíduo de PET, não identificou resistências semelhantes em seus estudos. Os estudos foram conduzidos com teores de substituição dos agregados naturais variando entre 10% e

40% e atingiu o valor de resistência à compressão de 1,94 MPa com 40% de resíduo de PET. Diante dos resultados obtidos os autores sugerem que este tipo de concreto seja utilizado para a confecção de artefatos de concreto sem função estrutural.

- d) O bloco de concreto para pavimento intertravado com substituição de 33,8 % de PET por agregados naturais, proposto na pesquisa atingiu todos os parâmetros técnicos exigidos na NBR 9781:2013. Portanto ele pode ser utilizado para o tráfego de pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linha. O atendimento às exigências técnicas foi possível em virtude da equalização de uma série de fatores que impactaram na melhoria das características do concreto desenvolvido tais como:
- i) do estudo das curvas granulométricas dos materiais constituintes; ii) da utilização de aditivos químicos plastificantes redutores de água para concreto; iii) do estudo da fração ideal de substituição do agregado natural por resíduo de PET; iv) da compensação da ausência de resistência do resíduo de PET por cimento, que permitiu alcançar as propriedades necessárias de resistência do bloco. Fioriti, Ino e Akasaki (2007) estudaram a incorporação do resíduo de borracha de recalchutagem de pneus na confecção de concreto para blocos para pavimento intertravado, entretanto os valores obtidos no estudo não atenderam os parâmetros técnicos exigidos na referida norma de blocos para pavimento o que levou os autores a sugerirem a utilização do material em áreas onde as solicitações no pavimento sejam menores como ciclovias, passeio de pedestres e praças.
- e) Apesar do bloco de concreto com adição de PET ter se mostrado viável tecnicamente, quando comparado com o bloco de concreto convencional, este se mostrou com uma estimativa de custo para produção 65% mais elevada do que o convencional. O fator de relevância foi o preço do resíduo de PET praticado pelas recicladoras.
- f) Em regiões em que existe uma escassez de agregados naturais, a alternativa do uso de resíduo de PET na produção de concreto pode ser uma alternativa viável técnica, economicamente e socialmente.

- g) O bloco de concreto com 33,8% de PET desenvolvido mostrou características ambientais relevantes, uma vez que este traço de concreto pode preservar um total de 608 kg de agregados naturais não renováveis por metro cúbico de concreto produzido e reciclar 72,2 kg de PET descartados ou ainda 1.588 garrafas PET de 2 litros por metro cúbico de concreto. A cadeia produtiva da construção civil demonstrou uma capacidade de absorver um resíduo que pode substituir e deixar de utilizar uma parte de um material natural não renovável por meio de um novo material que tem características ambientais e técnicas necessárias ao mercado consumidor. Pérez-Villarejo *et al.* (2012) , em seus estudos comprovam a idéia que a inovação tecnológica mostra-se uma interessante alternativa para a mitigação dos impactos ambientais causados pelos resíduos sólidos. Complementando, Safiuddin *et al.*, (2010) sugere a incorporação dos resíduos aos processos de fabricação dos materiais de construção civil como parte de matéria prima ou adição e que de acordo com Pappu *et al.* (2007) defendem que esta prática além de garantir a correta destinação ainda proporciona uma alternativa sustentável para o setor.
- h) O bloco de concreto para pavimento demonstrou ser uma nova sugestão de alternativa viável para a incorporação do resíduo de PET. Esta inovação pode auxiliar a dirimir os impactos ambientais inevitáveis que o resíduo causa nos aterros regularizados, tais como a impermeabilização das camadas do aterro, o volume que o resíduo ocupa. Seguindo a mesma direção, vários estudos também apontaram que a destinação do resíduo para a reciclagem pode dirimir a geração de diversos impactos como os efeitos da sua disposição nos aterros e que acarretam também melhorias nas áreas ambientais, econômicas e sociais como a geração de empregos, a inserção social dos catadores, a diminuição dos problemas ambientais, a economia de recursos naturais, a redução dos custos de manejo, a redução do consumo de energia dentre outros (Shen, Worrell, & Patel, 2010; Coelho, Castro, & Gobbo, 2011; Hamad, Kaseem, & Deri, 2013; Welle, 2013)
- i) Pode-se dizer que o bloco de concreto com PET atendeu aos conceitos esperados para um novo material que são o atendimento às esferas ambientais, econômicas e sociais. Este estudo buscou uma alternativa de dirimir o resíduo gerado, pela sugestão da inserção do PET como um item em um novo material viável

tecnicamente para a construção civil e que pudesse fomentar à coleta e captação deste resíduo gerando empregos e renda. Elkington (2012) criou o conceito de desenvolvimento sustentável que sugere que o desenvolvimento sustentável de um segmento só será alcançado se este estiver baseado no conceito conhecido como *tripple bottom line*, que é estar apoiado nos três pilares fundamentais que são o econômico, ambiental e o social para promover a sustentabilidade.

- j) Sugere-se para o desenvolvimento desta área de conhecimento novas pesquisas que abordem desde a viabilidade de implantação de um sistema de coleta seletiva e processamento do resíduo de PET para abastecimento de uma empresa que produza os blocos de concreto com PET, até a incorporação de incentivos fiscais e governamentais que possam ser utilizados neste projeto, além de novos estudos técnicos utilizando o concreto com PET que possam incrementar os subsídios para a utilização deste material no mercado consumidor.

6. REFERÊNCIAS

ABIPET –Associação Brasileira do PET: 9º Censo de Reciclagem do PET no Brasil, São Paulo, SP, Brasil 2013.

_____. 8º Censo da Reciclagem de PET no Brasil. São Paulo, SP, Brasil, 2011.

ABRELPE – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2012. São Paulo, SP, 2013

_____. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2013. São Paulo, SP, 2014

Agostinho, F., Almeida, C. M., Bonilla, S. H., Sacomano, J. B., & Giannetti, B. F. (2013). Urban solid waste plant treatment in Brazil: Is there a net emergy yield on the recovered materials?. *Resources, Conservation and Recycling*, 73, 143-155.

de Andrade, T. (2004). Inovação tecnológica e meio ambiente: a construção de novos enfoques. *Ambiente & Sociedade*, 7(1), 89-106.

Amadei, D. I. B., Pereira, J. A., Souza, R. A. D., & Meneguetti, K. S. (2012). A questão dos resíduos de construção civil: um breve estado da arte. *Revista NUPEM*, 3(5), 185-199.

Angulo, S. C., Teixeira, C. E., CASTRO, A., & Nogueira, T. P. (2011). Resíduos de construção e demolição: avaliação de métodos de quantificação. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 16(3), 299-306.

Angulo, (Angulo, John, Ulsen, Kahn, & Mueller, 2013)S. C., John, V. M., Ulsen, C., Kahn, H., & Mueller, (2013) A. Separação óptica do material cerâmico dos agregados mistos de resíduos de construção e demolição. *CEP*, 5508, 900.

Akçaozoğlu, S., Atiş, C. D., & Akçaozoğlu, K. (2010). An investigation on the use of shredded waste PET bottles as aggregate in lightweight concrete. *Waste Management*, 30(2), 285-290.

Albano, C., Camacho, N., Hernandez, M., Matheus, A., & Gutierrez, A. (2009). Influence of content and particle size of waste pet bottles on concrete behavior at different w/c ratios. *Waste Management*, 29(10), 2707-2716.

AR, I. M. *The impact of green product innovation on firm performance and competitive capability: the moderating role of managerial environmental concern*. **Procedia Social and Behavioral Sciences**, n. 62, n. 4, p. 854-864, 2012.

Araujo, J. M. D., & Günther, W. M. (2007). Caçambas Coletoras de Resíduos da Construção e Demolição no Contexto do Mobiliário Urbano: uma questão de saúde pública e ambiental. *Saúde e Sociedade*, 16(1), 145-154.

ARO, C., & AMORIM, S. (2004, July). As inovações tecnológicas no processo de produção dos sistemas prediais hidráulicos e sanitários. In *CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL* (Vol. 1).

Arundel, A and Kemp, R, Measuring eco-innovation, United Nations University Working Paper Series, (2009/017) pp. 1-40. ISSN 1871-9872 (2009) [Professional, Non Refereed Article]

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR5738 EMENTA 1:2008:** Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro, 2003. 1p.

_____ ABNT NBR NM 26:2009 - Agregados – Amostragem

_____ ABNT NBR NM 43:2003 “Cimento Portland - Determinação da pasta de consistência normal”

_____ ABNT NBR NM 76:1998 “Cimento Portland - Determinação da finura pelo método de permeabilidade ao ar (Método de Blaine)”

_____ ABNT NBR 11582:2012 “ Cimento Portland – Determinação da expansibilidade Le Chatelier”;

_____ ABNT NBR 11579:2012 “ Cimento Portland – Determinação do índice de finura na peneira 200”;

_____ ABNT NBR 65:2003 “Cimento Portland - Determinação do tempo de pega”;

_____ ABNT NBR 23:2001 “Cimento portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica”;

_____ ABNT NBR 7215:1996 “Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão”.

_____ ABNT NBR NM 53:2009 “Agregado graúdo - Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água”;

_____ ABNT NBR NM 52:2009 “Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente”;

_____ ABNT NBR NM 248:2003 “Agregados - Determinação da composição granulométrica”;

_____. ABNT NBR 7809:2006 “Agregado graúdo - Determinação do índice de forma pelo método do paquímetro”;

_____. ABNT NBR 7218:2010 “Agregados — Determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis”;

_____. ABNT NBR 46:2003 “Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira 75 um, por lavagem”;

_____. ABNT NBR NM 49:2001 “Agregado miúdo - Determinação de impurezas orgânicas”.

_____. ABNT NBR 9781:2013 - Peças de concreto para pavimentação — Especificação e métodos de ensaio.

Babu, G. L., & Chouksey, S. K. (2011). Stress–strain response of plastic waste mixed soil. *Waste management*, 31(3), 481-488.

Banias, G., Achillas, C., Vlachokostas, C., Moussiopoulou, N., & Papaioannou, I. (2011). A web-based Decision Support System for the optimal management of construction and demolition waste. *Waste management*, 31(12), 2497-2502.

Barbieri, J. C., de Vasconcelos, I. F. G., Andreassi, T., & de Vasconcelos, F. C. (2010). Inovação e sustentabilidade: novos modelos e proposições. *RAE-Revista de Administração de Empresas*, 50(2), 146-154.

Barbieri, J.C; Gestão Ambiental Empresarial: conceitos, modelos e instrumentos-3 ed. –São Paulo, 2011.

Barbieri, J. C. (2013). Políticas públicas indutoras de inovações tecnológicas ambientalmente saudáveis nas empresas. *Revista de Administração Pública*, 31(2), 135-a.

Barbosa, M. B., PEREIRA, A., Akasaki, J. L., Fioriti, C. F., Fazzan, J. V., TASHIMA, M., ... & Melges, J. L. P. (2013). Impact strength and abrasion resistance of high strength concrete with rice husk ash and rubber tires. *Revista IBRACON de Estruturas e Materiais*, 6(5), 811-820.

BeSen, G. R., GÜNTHER, W., RODRIGUEZ, A., & BRASIL, A. (2010). Resíduos sólidos: vulnerabilidades e perspectivas. *SALDIVA P. et al. Meio ambiente e saúde: o desafio das metrópoles. São Paulo: Ex Libris*.

BRASIL Lei nº 12.305 de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências.

Brehm, F. A., Kulakowski, M. P., Evaldt, D. C., Moraes, C. A. M., & Pampanelli, A. B. (2013). Análise da estabilização por solidificação de lodo de fosfatização em matrizes de cimento Portland e de cerâmica vermelha para a utilização na construção civil. *CEP*, 93022, 000.

Bringhenti, J. R., & GUNTHER, W. (2011). Participação social em programas de coleta seletiva de resíduos sólidos urbanos. *Engenharia Sanitária Ambiental*, 16(4), 421-430.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO (2014). Banco de Dados. Recuperado em 03 junho, 2014 de <http://www.cbicdados.com.br/menu/pib-e-investimento/pib-brasil-e-construcao-civil>.

Cabral, A. E. B., Schalch, V., Dal Molin, D. C. C., & Ribeiro, J. L. D. (2007). Modelagem da resistência à compressão de concretos produzidos com agregados reciclados de rcd.

Cachim, P., Velosa, A. L., & Ferraz, E. (2014). Substitution materials for sustainable concrete production in Portugal. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 18(1), 60-66.

Choi, Y. W., Moon, D. J., Chung, J. S., & Cho, S. K. (2005). Effects of waste PET bottles aggregate on the properties of concrete. *Cement and Concrete Research*, 35(4), 776-781.

Choi, Y. W., Moon, D. J., Kim, Y. J., & Lachemi, M. (2009). Characteristics of mortar and concrete containing fine aggregate manufactured from recycled waste polyethylene terephthalate bottles. *Construction and Building Materials*, 23(8), 2829-2835.

Coelho, A., & de Brito, J. (2013). Economic viability analysis of a construction and demolition waste recycling plant in Portugal—part I: location, materials, technology and economic analysis. *Journal of Cleaner Production*, 39, 338-352.

Coelho, T. M., Castro, R., & Gobbo, J. A. (2011). PET containers in Brazil: opportunities and challenges of a logistics model for post-consumer waste recycling. *Resources, Conservation and Recycling*, 55(3), 291-299.

CONSTRUBUSINESS – 10º Congresso Brasileiro da Construção. Departamento da Indústria da Construção. Departamento da Indústria da Construção (DECONCIC). Federação das Indústrias do Estado de São Paulo (FIESP). São Paulo-SP. 2012.

Côrtes, R. G., França, S. L. B., Quelhas, O. L. G., Moreira, M. M., & Meirino, M. J. (2012). Contribuições para a Sustentabilidade na Construção Civil. *Sistemas & Gestão*, 6(3), 384-397

COSTA, A., GUMIERI, A., & BRANDÃO, P. (2014). Interlocking concrete blocks produced with sinter feed tailings Piso intertravado produzido com rejeito de sinter feed.

Delongui, L., Pinheiro, R. J. B., da Silva Pereira, D., Specht, L. P., & Cervo, T. C. (2011). Panorama dos resíduos da construção civil na região central do Rio Grande do Sul Construction and demolition waste situation in central region of Rio Grande do Sul. *Teoria e Prática na Engenharia Civil*, (18), 71-80..

Demirbas, A. (2011). Waste management, waste resource facilities and waste conversion processes. *Energy Conversion and Management*, 52(2), 1280-1287.

Duarte, E.B.L. (2013). Resistência a compressão de argamassa composta por resíduo de construção e demolição e politereftalato de etileno (PET) em flocos. Dissertação (Mestrado). Programa de Mestrado em Gestão Ambiental e Sustentabilidade. Universidade Nove de Julho, 170 p.

Editora PINI (2015). *Revista Construção Mercado*. São Paulo, SP: Autor

Elkington, J. (2012). *Canibais com garfo e faca*. Makron Books.

FORUM, U. W. (2011). em São Paulo : desafios da sustentabilidade, 25(71), 135–158.

Fioriti, C. F., Ino, A., & Akasaki, J. L. (2007). Avaliação de blocos de concreto para pavimentação intertravada com adição de resíduos de borracha provenientes da recauchutagem de pneus. *Ambiente Construído*, 7(4), 43-54.

Foti, D. (2013). Use of recycled waste pet bottles fibers for the reinforcement of concrete. *Composite Structures*, 96, 396-404.

Frigione, M. (2010). Recycling of PET bottles as fine aggregate in concrete. *Waste management*, 30(6), 1101-1106.

Gil, A. C. (2002). Como classificar as pesquisas. _____. *Como elaborar projetos de pesquisa*, 4, 41-56.

Godecke, M. V., Chaves, I. A., & Naime, R. H. (2012). O consumismo e a geração de resíduos sólidos urbanos no Brasil. Santa Maria. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, 8(8), 1700-1712.

Gouveia, N. (2012). Resíduos sólidos urbanos: impactos socioambientais e perspectiva de manejo sustentável com inclusão social Solid urban waste: socio-environmental impacts and prospects for sustainable management with social inclusion. *Ciênc. saúde coletiva*, 17(6), 1503-1510.

Gradvohl, R. F., de Freitas, A. A. F., & Heineck, L. F. M. (2011). Desenvolvimento de um modelo para análise da acumulação de capacidades tecnológicas na indústria da construção civil: subsetor de edificações. *CEP*, 60740, 000.

Hamad, K., Kaseem, M., & Deri, F. (2013). Recycling of waste from polymer materials: An overview of the recent works. *Polymer Degradation and Stability*, 98(12), 2801-2812.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Pesquisa Anual da Indústria da Construção – PAIC, 2011. Brasília: IBGE. 2011.

Ibrahim, A. R. B., Roy, M. H., Ahmed, Z. U., & Imtiaz, G. (2010). Analyzing the dynamics of the global construction industry: past, present and future. *Benchmarking: An International Journal*, 17(2), 232-252.

Jacobi, P; Besen, GR. Gestão de resíduos Sólidos em São Paulo: desafios da sustentabilidade. Estudos Avançados; 2011.

Jumaat, M. Z., Salam, M. A., ISLAM, M. S., & HASHIM, R. Utilization of solid wastes in construction materials, 5(13), 1952–1963, 2010.

Kemp, R., & Pearson, P. (2007). Final report MEI project about measuring eco-innovation. *UM Merit, Maastricht*, 10.

Madurwar, M. V., Ralegaonkar, R. V., & Mandavgane, S. A. (2013). Application of agro-waste for sustainable construction materials: A review. *Construction and Building Materials*, 38, 872-878.

Marzouk, M., & Azab, S. (2014). Environmental and economic impact assessment of construction and demolition waste disposal using system dynamics. *Resources, Conservation and Recycling*, 82, 41-49.

Mello, L. C. B. D. B., & Amorim, S. R. L. D. (2009). O subsetor de edificações da construção civil no Brasil: uma análise comparativa em relação à União Europeia e aos Estados Unidos. *Produção*, 19(2), 388-399.

Modro, N., Modro, N., Modro, N., & Oliveira, A. (2009). Avaliação de concreto de cimento Portland contendo resíduos de PET. *Revista matéria*, 14(1), 725-736.

MOTTA, S. F., & AGUILAR, M. T. P. (2009). Sustentabilidade e processos de projetos de edificações. *Gestão & Tecnologia de Projetos*, 4(1), 88-123.

Pacheco-Torgal, F., Ding, Y., & Jalali, S. (2012). Properties and durability of concrete containing polymeric wastes (tyre rubber and polyethylene terephthalate bottles): An overview. *Construction and Building Materials*, 30, 714-724.

Pappu, A., Saxena, M., & Asolekar, S. R. (2007). Solid wastes generation in India and their recycling potential in building materials. *Building and Environment*, 42(6), 2311-2320.

Paschoalin Filho, J. A., & Duarte, E. B. L. (2014). CARACTERIZAÇÃO E DESTINAÇÃO DOS RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO GERADOS DURANTE A CONSTRUÇÃO DE UM EDIFÍCIO COMERCIAL LOCALIZADO NA CIDADE DE SÃO PAULO. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, 3(2), p-223.

Paschoalin Filho, J. A., Silveira, F. F., da Luz, E. G., & de Oliveira, R. B. (2014). Comparação entre as Massas de Resíduos Sólidos Urbanos Coletadas na Cidade de São Paulo por Meio de Coleta Seletiva e Domiciliar. *Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade-GeAS*, 3(3), 19-33.

Paschoalin Filho, J. A., & Graudenz, G. S. (2012). DESTINAÇÃO IRREGULAR DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO (RCD) E SEUS IMPACTOS NA SAÚDE COLETIVA DOI: 10.5773/rgsa. v6i1. 421. *Revista de Gestão Social e Ambiental*, 6(1).

Paschoalin Filho, J. A., Dias, A. J. G., Cortes, P. L., & Duarte, E. B. L. (2014). MANEJO DE RESÍDUOS DE DEMOLIÇÃO GERADOS DURANTE OBRAS DA ARENA DE FUTEBOL PALESTRA ITÁLIA (ALLIANZ PARQUE) LOCALIZADA NA CIDADE DE SÃO PAULO/BRASIL. *HOLOS*, 6, 73-91.

Paschoalin Filho, J. A., & Duarte, E. B. L. (2014). CARACTERIZAÇÃO E DESTINAÇÃO DOS RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO GERADOS DURANTE A CONSTRUÇÃO DE UM EDIFÍCIO COMERCIAL LOCALIZADO NA CIDADE DE SÃO PAULO. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, 3(2), p-223.

Paschoalin Filho, J. A., Silveira, F. F., da Luz, E. G., & de Oliveira, R. B. (2014). Comparação entre as Massas de Resíduos Sólidos Urbanos Coletadas na Cidade de São Paulo por Meio de Coleta Seletiva e Domiciliar. *Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade-GeAS*, 3(3), 19-33.

Paschoalin Filho, J. A., Storopoli, J. H., & Duarte, E. B. L. (2014). Viabilidade Econômica da Utilização de Resíduos de Demolição Reciclados na Execução do Contrapiso de um Edifício Localizado na Zona Leste da cidade de São Paulo. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, 18(2).

Pegoraro, C., Saurin, T. A., & de PAULA, I. C. (2010). Proposta de um procedimento para a análise e integração de requisitos ambientais ao processo de projeto da construção civil: um estudo de caso. *Gestão & Tecnologia de Projetos*, 5(1), p-79.

Pereira de Oliveira, L. A., & Castro-Gomes, J. P. (2011). Physical and mechanical behaviour of recycled PET fiber reinforced mortar. *Construction and Building Materials*, 25(4), 1712-1717.

Pereira, E., de Medeiros, M. H. F., & Levy, S. M. (2012). Durabilidade de concretos com agregados reciclados: uma aplicação de análise hierárquica. *CEP*, 81531, 980.

Rezende, J. H., Carboni, M., de Toledo Murgel, M. A., Capps, A. L. D. A. P., Teixeira, H. L., Simões, G. T. C., ... & de Almeida Oliveira, C. (2013). Composição gravimétrica e peso específico dos resíduos sólidos urbanos em Jaú (SP). *Eng Sanit Ambient*, 18(1), 1-8.

Rodrigues, L. P., & Holanda, J. N. F. (2013). Influência da incorporação de lodo de estação de tratamento de água (ETA) nas propriedades tecnológicas de tijolos solo-cimento (Influence of the incorporation of water treatment plant (WTP) sludge on the technological properties of soil-cement bricks). *Cerâmica*, 59, 551-556.

Rodrigues, F. A., & Joekes, I. (2011). Cement industry: sustainability, challenges and perspectives. *Environmental Chemistry Letters*, 9(2), 151-166.

Rodrigues, P. P. F. (1995). Parâmetros de dosagem do concreto. *São Paulo: ABCP*.

Safiuddin, M., Jumaat, M. Z., Salam, M. A., Islam, M. S., & Hashim, R. (2010). Utilization of solid wastes in construction materials. *International Journal of Physical Sciences*, 5(13), 1952-1963.

Saikia, N., & de Brito, J. (2014). Mechanical properties and abrasion behaviour of concrete containing shredded PET bottle waste as a partial substitution of natural aggregate. *Construction and Building Materials*, 52, 236-244.

SANTIAGO, L., & DIAS, S. (2012). Matriz de indicadores de sustentabilidade para a gestão de resíduos sólidos urbanos. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 17(2), 203-212.

Savastano Junior, H. (2011). *Materiais à base de cimento reforçado com fibra vegetal: reciclagem de resíduos para a construção de baixo custo* (Doctoral dissertation, Universidade de São Paulo).

Silva, D. A., Betioli, A. M., Gleize, P. J. P., Roman, H. R., Gomez, L. A., & Ribeiro, J. L. D. (2005). Degradation of recycled PET fibers in Portland cement-based materials. *Cement and Concrete Research*, 35(9), 1741-1746.

da Silva, J. D., & Marinho, J. L. A. (2012). Gerenciamento dos resíduos da construção e demolição: diretrizes para o crescimento sustentável da construção civil na região metropolitana do Cariri cearense. *Revista E-Tech: Tecnologias para Competitividade Industrial-ISSN-1983-1838*, 5(1), 102-119.

Soto Izquierdo, I., & Ramalho, M. A. (2014). Application of residual ash and sisal fiber in the production of mortar and concrete: Review. *Ingeniería y Desarrollo*, 32(2), 344-368.

SOUZA, M. I. B. D., SEGANTINI, A. A. D. S., & SANTOS, J. P. D. (2006). Tijolos prensados de solo-cimento com adição de resíduos de concreto. *Proceedings of the 6. Encontro de Energia no Meio Rural*.

Saikia, N., & de Brito, J. (2014). Mechanical properties and abrasion behaviour of concrete containing shredded PET bottle waste as a partial substitution of natural aggregate. *Construction and Building Materials*, 52, 236-244.

Shen, L., Worrell, E., & Patel, M. K. (2010). Open-loop recycling: A LCA case study of PET bottle-to-fibre recycling. *Resources, conservation and recycling*, 55(1), 34-52.

da Silva, V. A., & Fernandes, A. L. T. (2012). Cenário do gerenciamento dos resíduos da construção e demolição (RCD) em Uberaba-MG. *Sociedade & Natureza*, 24(2), 333-344.

da Silva Segantini, A. A., & Wada, P. H. (2011). Estudo de dosagem de tijolos de solo-cimento com adição de resíduos de construção e demolição-doi: 10.4025/actascitechnol.v33i2.9377. *Acta Scientiarum. Technology*, 33(2), 179-183.

SINDUSCON – SINDICATO DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Resíduo da Construção Civil e o Estado de São Paulo. Governo do Estado de São Paulo.** Secretaria do Meio Ambiente e Sindicato da Indústria da Construção Civil. Comitê de Meio Ambiente São Paulo-SP. 2013.

de Souza, M. T. S., de Paula, M. B., & de Souza-Pinto, H. (2012). O papel das cooperativas de reciclagem nos canais reversos pós-consumo. *RAE-Revista de Administração de Empresas*, 52(2), 246-262.

Taaffe, J., O'Sullivan, S., Rahman, M. E., & Pakrashi, V. (2014). Experimental characterisation of Polyethylene Terephthalate (PET) bottle Eco-bricks. *Materials & Design*, 60, 50-56.

Tam, V. W. (2009). Comparing the implementation of concrete recycling in the Australian and Japanese construction industries. *Journal of Cleaner Production*, 17(7), 688-702.

Taguchi, S. P., Santos, J. C., Gomes, T. M., & Cunha, N. A. (2014). Evaluation of technological properties of red ceramics incorporated with dimension stone waste from diamond wire loom. *Cerâmica*, 60(354), 291-296.

Tessaro, A. B., de Sá, J. S., & Scremin, L. B. (2012). Quantificação e classificação dos resíduos procedentes da construção civil e demolição no município de Pelotas, RS. *CEP*, 96100, 000.

Welle, F. (2013). Is PET bottle-to-bottle recycling safe? Evaluation of post-consumer recycling processes according to the EFSA guidelines. *Resources, Conservation and Recycling*, 73, 41-45..

Welle, F. (2011). Twenty years of PET bottle to bottle recycling—an overview. *Resources, Conservation and Recycling*, 55(11), 865-875.

Yuan, H. P., Shen, L. Y., Hao, J. J., & Lu, W. S. (2011). A model for cost–benefit analysis of construction and demolition waste management throughout the waste chain. *Resources, conservation and recycling*, 55(6), 604-612.