

CENTRO UNIVERSITÁRIO DE SUL DE MINAS – UNIS/MG

N. CLASS.	M624
CUTTER	Z.36e
ANO/EDIÇÃO	2014

**ESTUDO SOBRE A VIABILIDADE DA ADIÇÃO DE EMBALAGENS
DE POLITEREFTALATO DE ETILENO (PET) PICADAS AO
CONCRETO NÃO ESTRUTURAL E SEUS IMPACTOS ECOLÓGICOS
E FINANCEIROS**

Carlos Eduardo Zati

Varginha/MG



CENTRO UNIVERSITÁRIO DE SUL DE MINAS – UNIS/MG

**ESTUDO SOBRE A VIABILIDADE DA ADIÇÃO DE EMBALAGENS
DE POLITEREFTALATO DE ETILENO (PET) PICADAS AO
CONCRETO NÃO ESTRUTURAL E SEUS IMPACTOS ECOLÓGICOS
E FINANCEIROS**

Carlos Eduardo Zati

Orientador: Prof. M. Sc. Antônio de Faria

Monografia apresentada ao Centro Universitário do Sul de Minas (UNIS/MG), como requisito para obtenção de graduação em Engenharia Civil.

Varginha/MG

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos os professores que contribuíram e fizeram parte da minha educação acadêmica e pessoal.

Agradeço ao Sr. Carlos Henrique, gerente da Beton Hipermix, que disponibilizou os materiais necessários para moldagem dos corpos de prova.

Agradeço ao Sr. Fabiano Botrel, Responsável pelo Laboratório de Engenharia do Unis, por auxiliar e supervisionar a realização dos ensaios.

Agradeço a Prefeitura Municipal de Varginha, pela liberação em momentos decisivos para elaboração deste trabalho.

Agradeço de forma especial a toda minha família por estarem sempre presentes e a todos aqueles que de alguma forma ajudaram na minha caminhada até aqui.

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo estudar a viabilidade técnica, econômica e ambiental de se adicionar garrafas de politereftalato de etileno, mais conhecidas como PET, picadas ao concreto convencional para obras não estruturais e com esforços predominantemente de compressão, como alternativa para redução de custos da obra, reciclagem deste material e verificação da variação nas propriedades mecânicas do concreto.

Pretende-se acrescentar fragmentos de PET em proporções variadas ao traço convencional do concreto e através do rompimento de corpos de prova, criar um comparativo entre os resultados apresentados pelas amostras de concreto com traço tradicional e pelas amostras incluindo o agregado PET.

Espera-se com isso possibilitar um paralelo direto entre os diferentes corpos de prova executados, comparando: a resistência à compressão obtida nos ensaios conforme NBR's 5738 e 5739/2007, a forma de execução de cada um e os impactos ambientais e econômicos de cada método. Isso permitirá determinar a variabilidade da resistência à compressão do concreto acrescido de PET picado, além de possibilitar uma análise sobre a viabilidade da inserção deste material, que hoje é tratado como lixo, no mercado da construção civil como alternativa para agregar valor às edificações, reduzir seus custos e reutilizar o lixo de forma sustentável.

Palavras-chave: Concreto, resistência, reciclagem, garrafas PET, meio ambiente.

ABSTRACT

This work aims to study the technical, economic and environmental feasibility of adding bottles of poly-ethylene terephthalate - PET bites to conventional concrete for residential construction as an alternative to reduce construction costs and recycling of this material.

We intend to add the chopped PET in varying proportions to conventional concrete and trace through the breaking of the specimens, creating a comparison between the results using samples of concrete with traditional trait and the samples including PET aggregate.

It is hoped that allow a direct comparison between the different specimens performed comparing: the compressive strength obtained in the tests according to NBR's 5738 and 5739/2007, the form of execution of each and the environmental and economic impacts of each method.

Keywords: concrete, strength, recycling, plastic bottles PET, environment.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	09
2. JUSTIFICATIVA	11
3. OBJETIVOS	
3.1. Objetivos gerais	13
3.2. Objetivos específicos	13
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
5. METODOLOGIA	17
6. ESPECIFICAÇÃO DOS INSUMOS	18
7. O AGREGADO PET	19
7.1. Preparo do agregado PET	19
7.2. Determinação da massa específica do agregado PET.....	20
7.2.1. Materiais utilizados no ensaio	20
7.2.2. Ensaio - Massa específica do agregado PET.....	21
8. PREPARO DOS TRAÇOS DE CONCRETO	23
8.1. Determinação dos traços	24
8.2. Traço de referência	24
8.3. Traço A – Adição de 5% de PET	26
8.4. Traço B – Adição de 15% de PET	27
8.5. Traço C – Adição de 30% de PET	28
8.6. Tabela resumo de quantidades de agregados por molde	30
9. MOLDAGEM, DESMOLDAGEM E CURA DOS CORPOS DE PROVA	31
10. CRONOGRAMA E DADOS DO ENSAIO DE COMPRESSÃO	34
11. IMPACTOS ECONÔMICOS	40
12. IMPACTOS AMBIENTAIS	43
13. VIABILIDADE DO PET COMO AGREGADO	45
14. CONSIDERAÇÕES FINAIS	47
15. CONCLUSÕES.....	49
16. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Tampa/bico e o fundo da garrafa, não aproveitados no processo	19
- Figura 2 – Especificação Frasco de Chapman padrão utilizado no ensaio	20
- Figura 3 - Balança de precisão utilizada no ensaio	21
- Figura 4 - Especificações Frasco de Chapman padrão utilizado no ensaio.....	22
- Figura 5 - Detalhe da amostra de concreto misturado com pedaços de PET	23
- Figura 6 - Revestimento das paredes internas dos moldes padrão com Óleo mineral ...	24
- Figura 7 - Tabela resumo sobre a determinação do traço de concreto de referência ...	25
- Figura 8 - Tabela resumo sobre a determinação do traço de concreto com adição de 5% de PET	27
- Figura 9 - Tabela resumo sobre a determinação do traço de concreto com adição de 15% de PET	28
- Figura 10 - Tabela resumo sobre a determinação do traço de concreto com adição de 30% de PET.....	29
- Figura 11 - Tabela de resumo de quantidades de agregados por molde	30
- Figura 12 - Tabela de resumo de consumo de materiais utilizada nos ensaios	31
- Figura 13 - Óleo mineral / Vaselina Sólida da Marca Dimec, utilizada para revestir as paredes dos moldes	32
- Figura 14 - Corpos de prova após a desmoldagem e cura por 7 dias	33
- Figura 15 - Ensaio de rompimento dos corpos de prova	34
- Figura 16 - Detalhe do indicador digital da prensa hidráulica	35
- Figura 17 - Gráfico Ensaio de rompimento dos corpos de prova (Traço referência a ser rompido e Traço C após ruptura)	35
- Figura 18 - Limpeza realizada na prensa hidráulica após cada ensaio de ruptura	36
- Figura 19 - Tabela do rompimento dos corpos de prova na idade de 3 dias	36
- Figura 20: Tabela do rompimento dos corpos de prova na idade de 7 dias	37
- Figura 21: Tabela do rompimento dos corpos de prova na idade de 28 dias	37
- Figura 22: Gráfico de resultados do rompimento dos corpos de prova nas idades de 3, 7 e 28 dias – Tempo de cura [dias] pela Resistência à compressão [MPa]	38
- Figura 23: Gráfico de resultados dos ensaios de rompimento à compressão dos corpos de prova nas idades de 3, 7 e 28 dias – Resultados apresentados em MPa x dia	39
- Figura 24: Tabela com proporção volumétrica dos insumos por traço	40

- Figura 25: Tabela de preços dos materiais utilizados para 1m ³ de concreto do traço de referência	41
- Figura 26: Tabela de preços dos materiais utilizados para 1m ³ de concreto do traço com 5% de adição de PET	41
- Figura 27: Tabela de preços dos materiais utilizados para 1m ³ de concreto do traço com 15% de adição de PET	41
- Figura 28: Tabela resumo sobre a determinação do traço de concreto com adição de 30% de PET	42
- Figura 29: Gráfico de impactos econômicos	42
- Figura 30 - Gráfico de impactos ambientais	44

1. INTRODUÇÃO

A produção de lixo nas cidades brasileiras é um problema que parece não ter solução. Quanto maior a população, maior a quantidade de lixo gerada e mais difícil se torna encontrar lugares adequados para seu descarte. De forma sintética, o resultado de todas as atividades humanas é o lixo.

Com o avanço das tecnologias, empresas de todo o mundo passaram a estimular o consumismo exacerbado, lançando constantemente novos produtos que atraem novos consumidores. Mas toda mercadoria a ser produzida é transformada de uma matéria-prima retirada da natureza; e todo produto gera lixo. Mas a maioria das pessoas parece não se importar com o destino de tantos resíduos. Nas regiões mais afastadas e cidades menores onde os sistemas de coleta são insuficientes ou inexistentes, fica ainda mais evidente o descaso com o lixo. Além disso o descarte é feito em lixões a céu aberto ou em aterros, em qualquer das hipóteses resulta na degradação ambiental e social nestes locais. O lixo é um dos maiores problemas da atualidade em todo o mundo e se não for descartado corretamente, compromete a saúde e qualidade de vida das pessoas, sendo então necessária a adoção de políticas de reutilização destes resíduos.

A geração de resíduos sólidos é uma consequência direta e natural do aumento de consumo das sociedades, em especial urbanas. Incalculáveis são os problemas ocasionados pela disposição de resíduos sólidos lançados na natureza e as medidas para contenção de tantos lixões precisam ser tomadas com urgência.

A grande intensidade da poluição ambiental foi observada e sentida pela sociedade moderna no início dos anos 70, quando começaram a constituir problema os imensos volumes de objetos de plástico que já eram utilizados e descartados aleatoriamente. São as embalagens de politereftalato de etileno, mais conhecidas como PET, as mais visíveis se avolumando nas calçadas, nos lixões, nos aterros, nos rios...

Porém hoje existe ainda outro problema em constante crescimento que é a quantidade cada vez maior de lixo eletrônico sendo gerado e descartado sem nenhum controle.

Quanto maior o nível socioeconômico e consequente poder aquisitivo do cidadão, maior o uso de descartáveis e quantidade de polímeros no lixo. A tecnologia proporciona a utilização de polímeros para uma melhora na qualidade de vida, mas isso também resulta em grande problema com a enorme quantidade de resíduos gerados, dificultando a compactação da parte

orgânica, além da significativa perda econômica e social, uma vez que a indústria da reciclagem gera empregos e usa mão de obra de baixa qualificação. O conhecimento das características tecnológicas dos resíduos aumenta a possibilidade de utilização dos produtos confeccionados com estes materiais, além da redução da geração de resíduos mais danosos que os originais, uma vez que todo processamento gera resíduo.

No tocante a estes problemas, faz-se necessário a adoção de novas formas de reutilização de resíduos, em especial, as embalagens PET, que estão entre as mais vistas transbordando em rios, lixões e vias públicas. Sendo a construção civil, um dos setores que mais geram resíduos, é preciso adotar técnicas construtivas sustentáveis, que visem a conservação dos recursos naturais e sua preservação para abastecimento às futuras gerações, integrando materiais recicláveis aos insumos de uso difundido em obras civis. Logo, fica evidente a importância de se buscar maneiras de integrar o PET ao concreto convencional para edificações, para assim reutilizar e reaproveitar esse insumo tão resistente, buscar aumentar a resistência à compressão do concreto e como forma também de substituir outros insumos que são atualmente utilizados nos traços comuns de concreto.

2. JUSTIFICATIVA

Segundo dados da “Engineering research foundation” - CERF, a construção civil é responsável por entre 15 e 50 % do consumo dos recursos naturais extraídos. Ao verificar fatos da história, pode-se atestar que hoje o mundo se encontra em uma situação sem precedentes com relação ao lixo: os espaços de reserva estão diminuindo e a Terra parece que está se tornando pequena demais para a crescente população mundial. A pressão do homem sobre a Terra é cada vez maior, causando desequilíbrio em seus ecossistemas, afetando até mesmo a biodiversidade das espécies.

A utilização de materiais reciclados na construção civil pode se configurar num importante canal de eliminação de resíduos urbanos que, de outra forma, seriam depositados em qualquer lugar aumentando o custo de deposição e tratamento, e afetando o meio ambiente de forma agressiva e sem controle.

O concreto de cimento Portland vem sendo estudado a tempos, por acadêmicos e pesquisadores, isso explica pela vasta utilização na construção civil. Ele tem provado ser o material mais adequado para estruturas e o mais utilizado em construções; é também considerado um material com custo acessível e de grande facilidade de moldagem.

De acordo com pesquisas já consolidadas, o concreto é o material de construção mais utilizado no mundo, sendo assim, o constante estudo de seus componentes, processos de fabricação e utilização devem ser promovidos e valorizados.

Portanto, torna-se bastante atraente a possibilidade de melhorar as propriedades do concreto reutilizando garrafas PET. Assim, seria possível aliar um benefício ambiental com a melhoria de um material importantíssimo nas obras de construção civil.

Segundo Rodrigues: Ainda não foi realizado um estudo aprofundado, deve-se realizar um apanhado geral objetivo dos métodos, e análises laboratoriais de identificação dos materiais envolvidos no processo, buscando valores satisfatórios em termos de resistência à compressão com dosagens em proporções de PET em substituição ao agregado. Estes resultados devem ser comparados a especificações técnicas recomendadas pelas Normas Brasileiras (ABNT e DNIT). Esta citação justifica e reafirma este estudo.

Em consequência da intensidade do uso, o preço dos materiais componentes tende a crescer, é a base da lei de oferta e procura. Com a utilização de resíduos de PET como agregado espera-se possibilitar a redução do custo final da obra e o aproveitamento de grande parte do

polietileno que é descartado em locais inadequados, dando a ele uma nova utilização na construção civil.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVOS GERAIS

- Estudar a interação entre o PET picado e o concreto convencional através de corpos de prova.
- Avaliar a influência da adição do PET picado na resistência final a compressão dos corpos de prova.
- Comparar as características do concreto preparado por método convencional e as apresentadas pelo concreto agregado com PET picado.
- Mensurar o impacto ambiental resultante do emprego de garrafas PET na construção civil.
- Avaliar o impacto econômico resultante da inclusão do PET nos traços de concreto.
- Determinar a viabilidade da substituição do concreto convencional por concreto incluindo o PET picado para uso na construção civil.
- Definir o traço ideal para o concreto com PET picado, de forma a otimizar a integração entre os insumos.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Reunir as Normas técnicas envolvidas no desenvolvimento do estudo.
- Moldar corpos de prova para realização de ensaios de resistência a compressão.
- Proceder o rompimento dos corpos de prova por compressão e analisar as resistências obtidas das amostras.
- Gerar gráficos que permitam a visualização direta dos resultados e sua comparação.
- Verificar se a inclusão do PET no traço de concreto aumenta ou diminui a resistência a compressão dos corpos de prova.
- Determinar o limite de utilização do PET no concreto que não comprometa significativamente a resistência do concreto.

- Definir a melhor proporção entre PET e concreto entre as amostras testadas.
- Analisar as características visuais apresentadas por cada amostra.
- Determinar a quantidade de garrafas PET que são reutilizadas para cada metro cúbico de concreto em cada proporção determinada (garrafas PET / m³ concreto em cada traço).
- Gerar comparativo de custos para cada metro cúbico entre as amostras de concreto convencional e as amostras agregadas com PET picado (Preço/m³).

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O lixo é um dos maiores problemas enfrentados pelas gestões públicas na atualidade e a coleta de lixo é certamente um dos serviços públicos de maior relevância para a população.

Segundo Canellas: O volume de resíduos domésticos produzidos em todo o mundo aumentou três vezes mais do que a sua população nos últimos 30 anos. O crescimento do uso de embalagens descartáveis, a cultura do consumo e o desperdício são responsáveis pelo descarte de 30 bilhões de toneladas de resíduos sólidos no planeta todos os anos.

Juntamente a todo esse lixo, estão as garrafas PET, que são comumente vistas jogadas na natureza sem o descarte adequado ou reciclagem. As garrafas são recuperadas principalmente através de catadores e cooperativas, além de fábricas e da coleta seletiva operada por municípios. Segundo a CEMPRE – Compromisso Empresarial para Reciclagem, a produção média de resíduos sólidos urbanos no Brasil está na ordem de 0.7kg/hab.dia, em cidades como Rio de Janeiro e São Paulo chegam a gerar 1 kg/hab.dia, e desta forma, são descartados diariamente 140.000 toneladas, nem sempre em locais adequados. Deste total, 76% acabam em lixões (área de depósito de resíduos urbanos sem tratamento), acarretando a contaminação do solo, dos mananciais, além de aumentar significativamente a ocorrência de zoonoses. Ainda segundo dados da CEMPRE : 57,1% das embalagens pós-consumo foram efetivamente recicladas em 2011, totalizando 294 mil toneladas. O volume de PET reciclado no Brasil seguiu crescendo em 2011. De 1994 a 2002, o percentual de reciclagem das embalagens PET pós-consumo no Brasil subiu de 19% para 35% do total comercializado. De 2003 à 2006 subiu de 43% para 51% e desde então a alta anual tem variado de 1,5% à 2%. Em 2009 o Brasil alcançou novamente o segundo lugar na reciclagem do PET, perdendo apenas para o Japão que reciclou 72,1%.

Mas mesmo com dados tão representativos no âmbito mundial, o Brasil ainda precisa reciclar muito mais, já que fazendo a conta inversa, pode-se mensurar a quantidade de mais de 250 mil toneladas de garrafas PET dispensadas de forma indevida no meio ambiente. Esse dado é alarmante e novas formas de reutilização deste material devem ser propostas e estimuladas por políticas públicas. Segundo Rodrigues, através de políticas adequadas de reaproveitamento de resíduos na construção civil, espera-se lançar um novo olhar aos resíduos sólidos de PET, um material que outrora fora considerado como lixo e que mediante pesquisa, pode se tornar um grande aliado na confecção de outros produtos, sendo utilizado como matéria-prima na indústria da construção civil.

Segundo Canellas, novas alternativas para reutilização destas embalagens pós-consumo necessitam ser propostas, de modo a evitar o descarte em aterros sanitários e no meio ambiente onde, por não serem de rápida decomposição, acarretam problemas de ordem operacional nos aterros sanitários. No Brasil a prática da reciclagem ainda apresenta-se de forma incipiente, mas o cenário aponta melhorias.

A solução pode partir da filosofia dos 3R's: reduzir, reutilizar e reciclar. Segundo Pietrobelli, deve-se adotar essa filosofia como um procedimento permanente, buscando a minimização desta situação. A reciclagem, como todo processo também pode gerar resíduos, conforme citado por Canellas e muitas vezes, exige grandes investimentos. Porém, mesmo com estes "efeitos colaterais", é sem dúvida a melhor solução.

Atentando-se para a política dos 3R's, deve-se buscar novas formas de reciclagem e reutilização do PET e redução no consumo de outros insumos da construção, porém existe um conceito ainda mais atual, que inclui um quarto "R" nesta filosofia, Repensar, este último talvez seja o mais importante, pois deve preceder todos os outros. Podemos assimilar esta palavra a estudar, ou pesquisar, conhecer para combater. Sendo assim, estudos têm sido adotados como solução em muitos países e são realizados por diversas áreas da engenharia para utilização de lixo como matéria-prima, isto se confirma através de publicações como a de Soncim da Faculdade de Engenharia da Universidade Vale do rio Doce, sobre o emprego do resíduo da reciclagem de garrafas PET como agregado em reforço de subleitos de rodovias, da própria sede da instituição, entre outras pesquisas. Segundo Rodrigues, a construção civil tem se constituído, nos últimos anos, como o mais importante mercado dentre todos os atendidos pela indústria plástica. Considerando as possíveis vantagens na utilização de agregados plásticos reciclados, deve se pesquisar a viabilidade de utilização dos resíduos de PET como material alternativo, em substituição a uma matéria-prima não renovável na natureza, de forma a minimizar sérios impactos ambientais e esperando que desta forma o aproveitamento desse resíduo sólido venha representar uma alternativa econômica, diminuindo o risco à saúde pública e ao meio ambiente.

5. METODOLOGIA

A apresentação do trabalho foi realizada em duas etapas, sendo a primeira durante o 9º período e a segunda durante o 10º período.

Na primeira etapa do trabalho, foram desenvolvidas pesquisas em sites acadêmicos, revistas de engenharia, artigos, trabalhos acadêmicos, teses, livros e através de contatos por e-mail e telefone com os profissionais da área, buscando obter uma grande quantidade de informações técnicas que foram filtradas no desenvolvimento do estudo.

Na segunda etapa, foram executados os traços em diferentes teores de adição e corpos de prova determinados, sendo acrescentadas as medidas de agregado PET no traço convencional de concreto, para confecção dos traços variados com proporções de 5%, 15% e 30% de PET com relação à quantidade utilizada dos outros insumos, gerando quatro corpos de prova para cada uma das três datas de rompimento, conforme NBR 5738/2007, que define o procedimento para moldagem e cura dos corpos de prova. O rompimento dos corpos de prova foi realizado nas idades de 3, 7 e 28 dias, conforme NBR 5739/2007, que determina o método de ensaio de resistência à compressão e rompimento de corpos de prova cilíndricos.

A partir dos resultados, os corpos de prova foram comparados de forma esquemática com relação aos custos, impactos ambientais e principalmente a resistência à compressão de cada amostra, buscando determinar o benefício ou prejuízo na utilização do material PET misturado com concreto para construção de edificações.

6. ESPECIFICAÇÃO DOS INSUMOS

*ÁGUA TRATADA

*AGLOMERANTE:

- Cimento: Tipo: CP II - E 32
Marca: Holcin Ultraforte
Massa específica: 3,10 g/cm³
Massa unitária: 1,40 g/cm³
Preço do saco de cimento de 50kg: R\$ 19,50*
Volume estado solto saco de 50kg: 1,4 g/ml x 50000g = 35714,29 ml
Preço por ml: R\$ 19,50 / 35714,29ml = 0,546x10³ R\$/ml = 0,546 R\$/litro*
Preço por m³: R\$ 546,00/m³ de cimento (excetuando-se os outros insumos)*

*AGREGADOS MIÚDOS:

- Areia média/grossa: Massa específica: 2,65 g/cm³
Massa unitária: 1,50 g/cm³
Preço do caminhão areia 5,5 m³: R\$ 300,00*
Preço aproximado m³ areia: R\$ 54,55*

- Flakes de PET: Massa específica: 0,46 g/cm³ (conforme ensaio apresentado adiante)

*AGREGADOS GRAÚDOS:

- Britas 0 e 1, misturadas em proporções iguais: Massa específica: 2,75 g/cm³
Massa unitária: 1,40 g/cm³
Preço caminhão brita 6 m³: R\$ 460,00*
Preço aproximado m³ brita: R\$ 76,67*

** Os preços apresentados foram calculados por média aritmética entre os valores de mercado de três empresas da cidade de Varginha, no mês de junho do corrente ano.*

7. O AGREGADO PET

7.1. PREPARO DO AGREGADO PET

Para realização deste estudo, foram utilizados resíduos de garrafas PET provenientes de embalagens de refrigerantes pós consumo. Foram escolhidas as garrafas transparentes por questão estética, visando melhorar a apresentação visual do concreto acabado, visto que as fibras de PET coloridas poderiam se destacar no produto final.

Antes da utilização como agregado para o concreto, as garrafas passaram por lavagem simples com água, para retirada de resíduos mais grossos de sua superfície, e secagem ao ar livre. Esse processo de limpeza, visa melhorar a interação entre concreto e agregados PET e evitar distorções nos resultados por conta da presença destes resíduos.

As garrafas são aproveitadas quase em sua totalidade, restando apenas a região do bico/tampa e o fundo das garrafas, onde o plástico é mais reforçado e inviabiliza sua fragmentação manualmente.

- Figura 1: Tampa/bico e o fundo da garrafa, não aproveitados no processo



Cada garrafa, após o processo de fragmentação, pesa 30g e apresenta volume de aproximadamente 65 ml, conforme ensaio realizado para determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco de Chapman, melhor detalhado a seguir.

7.2. DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA DO AGREGADO PET


Para determinação da massa específica do agregado PET, foi realizado o ensaio de agregados miúdos para concreto pelo frasco de Chapman, conforme NBR 9776/87, Agregados - Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco de Chapman.

7.2.1. MATERIAIS UTILIZADOS NO ENSAIO

Para realização deste ensaio foram utilizados os seguintes aparelhos:

- Balança com capacidade de 3kg e precisão de 1g
- Frasco de Chapman (NBR 9776/87)
- Amostra de 50g de PET picado
- 200 ml = 200 cm³ de álcool
- Embalagem para pesagem do PET.

- Figura 2: Especificações Frasco de Chapman padrão utilizado no ensaio

	Frasco de CHAPMAN para gravidade específica com volume de 450ml		
	Bulbo inferior	Subdivisão Bulbo superior	Gargalo
	200 ml	175 ml	75 ml (subdividido em 1 ml)

- **Figura 3: Balança de precisão utilizada no ensaio**



7.2.2. ENSAIO - MASSA ESPECÍFICA PET

O ensaio tem a finalidade de determinar a massa específica de agregados miúdos e é realizado com auxílio de água. Pelo fato de as partículas de PET serem mais leves que a água, estas emergem à superfície do líquido e prejudicam a leitura correta das graduações. Portanto, foi utilizado o álcool, que possui massa específica menor que a da água, para possibilitar que o agregado afunde no líquido e forme uma mistura homogênea entre o líquido (álcool) e o agregado (PET) para possibilitar uma leitura clara e a conclusão do teste.

O ensaio consistiu em colocar álcool até a marca de 200 cm³, deixando-o em repouso, para que a parcela que estivesse aderida às faces internas escorresse totalmente. Em seguida foi introduzida a quantidade de 50g do agregado miúdo PET devidamente seco e foi agitado o frasco para eliminação das bolhas de ar e mistura completa dos materiais. Na sequência foi realizada a leitura do volume atingido pelo álcool no gargalo do frasco em cm³, ocupado pelo conjunto álcool-agregado miúdo, alertando-se para que as faces internas estivessem completamente secas e sem grãos de PET aderidos.

Após a colocação da massa de 50g de agregado PET, a leitura indicou o volume de 309 cm³, sendo então resultante a diferença de 109 ml para cada 50g de PET, ou seja, 0,46g/ml.

Este ensaio foi realizado no Laboratório de Engenharia do Unis, com sede à Cidade Universitária, com o auxílio do Sr. Fabiano Botrel, responsável pelo laboratório.

- Figura 4: PET picado e as garrafas a serem preparadas para o ensaio

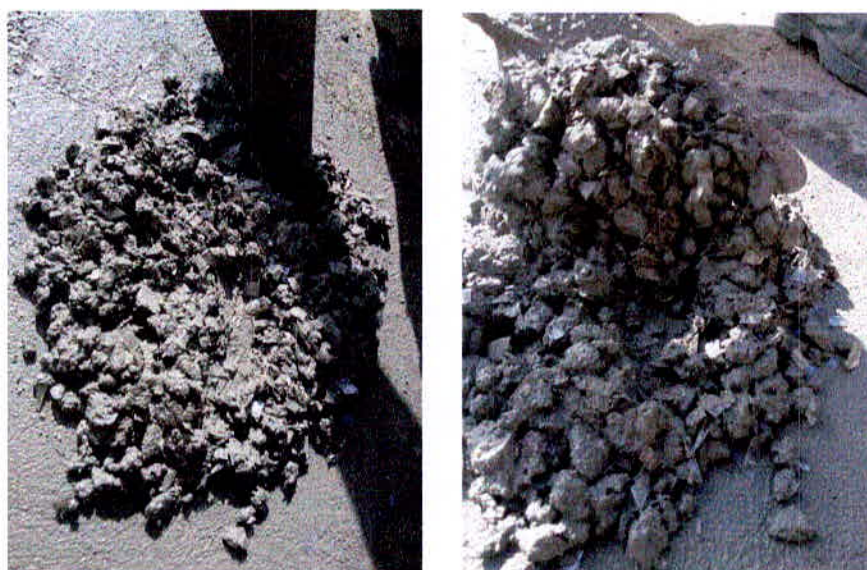


8. PREPARO DOS TRAÇOS DE CONCRETO

Para cada um dos traços utilizados neste trabalho foi desenvolvida uma única dosagem. Todos os materiais eram previamente selecionados e pesados antes do início do amassamento, o qual foi realizado utilizando uma enxada e colher de pedreiro. Em um caixote de madeira compensada, o cimento e a areia foram misturados até formar uma mistura uniforme. Depois foram adicionadas as britas 0 e 1. Em seguida foi feito um monte com uma abertura no meio, onde foi colocada a água aos poucos para evitar que escorra. Os insumos continuaram a serem misturados até formarem uma nova mistura uniforme com boa trabalhabilidade.

Após esse processo o concreto com traço de referência era colocado em outro caixote similar ao primeiro, onde era misturada à respectiva proporção de PET. Este último foi colocado em proporções de 5%, 15% e 30%, conforme tabela de Quantidades de Agregados, apresentada a seguir, e misturado aos demais insumos até ficar bem distribuído pelo concreto.

- Figura 5: Detalhe da amostra de concreto misturado com pedaços de PET



Após a moldagem o caixote que havia sido usada para a mistura do concreto com o PET era limpo para reutilização no processo.

Para cada proporção de PET foram moldados três corpos de prova, conforme NBR 5738 que determina o procedimento para moldagem e cura dos corpos de prova, para posterior ensaio de resistência à compressão, conforme NBR 5739, nas idades de 3, 7 e 28 dias.

- Figura 6: Revestimento das paredes internas dos moldes padrão com Óleo mineral



8.1. DETERMINAÇÃO DOS TRAÇOS

O traço de referência adotado é o seguinte: **1 : 2,5 : 2,5 : 1,25** - Cimento, Areia, Brita e água, respectivamente.

Com a adição do PET, os demais agregados tiveram seus volumes reduzidos em proporção volumétrica, conforme a quantidade adicionada, reduzindo o consumo de cimento, areia e brita. A água não foi considerada para composição dos volumes dos traços, já que grande parte de seu volume evapora durante a reação para produção do concreto e também durante a cura dos corpos de prova. Além disso, conforme a temperatura do ar no período do ensaio a quantidade definida pode sofrer reajustes até assumir boa trabalhabilidade.

Os traços foram recalculados a cada nível de adição conforme o volume do molde padrão e determinadas as novas quantidades de cada insumo em proporção volumétrica, percentual e no novo traço.

8.2. TRAÇO DE REFERÊNCIA

Determinação do volume do molde padrão:

Dimensões: Diâmetro da base = 0,1m

Altura = 0,2m

$$\text{Volume} = (P \times 0,1^2 / 4) \times 0,2 = 0,0015707963267949\dots$$

$$\text{Volume} = 0,0015708 \text{ m}^3 \times 1000 = 1,5708 \text{ litros} = 1570,8 \text{ ml}$$

Proporção em **percentual volumétrico**, conforme traço:

Traço de referência : **1 : 2,5 : 2,5 : 1,25** (Cimento, Areia, Brita, Água)

Volumes de insumos por molde:

$$\text{- Cimento: } 100\% = 6,0 \text{ --> } x = 1 \text{ --> } x = 16,67\% \text{ --> } 0,1667 \times 1570,8 \text{ ml} = 261,85 \text{ ml}$$

$$\text{- Areia: } 100\% = 6,0 \text{ --> } x = 2,5 \text{ --> } x = 41,67\% \text{ --> } 0,4167 \times 1570,8 \text{ ml} = 654,55 \text{ ml}$$

$$\text{- Brita: } 100\% = 6,0 \text{ --> } x = 2,5 \text{ --> } x = 41,67\% \text{ --> } 0,4167 \times 1570,8 \text{ ml} = 654,55 \text{ ml}$$

$$\text{- Água: } 100\% = 6,0 \text{ --> } x = 1,25 \text{ --> } x = 20,83\% \text{ --> } 0,2083 \times 1570,8 \text{ ml} = 327,25 \text{ ml}$$

Devido ao fato de a água se manter em proporções iguais com a variação dos insumos, ela não será apresentada na representação dos traços, sendo portanto o formato do traço de referência:

1 : 2,5 : 2,5 - Cimento, Areia, Brita (proporção volumétrica)

Quantidade de agregados e massa unitária utilizada por molde

$$\text{- Cimento: } 261,85 \text{ ml} \times 3,10 \text{ g/ml} = 811,7 = 812 \text{ gramas}$$

$$\text{- Areia: } 654,55 \text{ ml} \times 2,65 \text{ g/cm}^3 = 1734,6 \text{ g} = 1735 \text{ gramas}$$

$$\text{- Brita: } 654,55 \text{ ml} \times 2,75 \text{ g/cm}^3 = 1800 \text{ gramas}$$

$$\text{- Água: } 100\% = 6,0 \text{ --> } x = 1,25 \text{ --> } x = 20,83\% \text{ --> } 0,2083 \times 1570,8 \text{ ml} = 327,25 \text{ ml}$$

Figura 7 - Tabela resumo sobre a determinação do traço de concreto de referência

	Percentual padrão [%]	Proporção Volumétrica [ml]	Novo percentual	Insumos por molde [gramas]	Definição do traço
CIMENTO	16,67	261,85	-	812	1
AREIA	41,67	654,55	-	1735	2,5
BRITA	41,67	654,55	-	1800	2,5
PET	-	-	-	-	-

8.3. TRAÇO A - ADIÇÃO DE 5% DE PET

Proporção Volumétrica

- 5% de PET = 78,54ml
- Volume composto por outros insumos: 1570,8 (total do molde) - 78,54 (PET) = 1492,26ml
- Novos volumes de insumos por molde:
 - Cimento: $1492,26\text{ml} = 100\% \rightarrow x = 16,67\% \rightarrow x = 248,76\text{ml}$
 - Areia: $1492,26\text{ml} = 100\% \rightarrow x = 41,67\% \rightarrow x = 621,82\text{ml}$
 - Brita: $1492,26\text{ml} = 100\% \rightarrow x = 41,67\% \rightarrow x = 621,82\text{ml}$
 - Água: $100\% = 6,0 \rightarrow x = 1,25 \rightarrow x = 20,83\% \rightarrow 0,2083 \times 1570,8\text{ml} = 327,25\text{ ml}$

Quantidade de agregados e massa unitária utilizada por molde

- PET = 78,54ml = 36,13g = 1,2 garrafas PET (embalagem comum de 2 litros)
- Cimento: $248,76\text{ml} \times 3,10\text{ g/ml} = 771,16\text{g} = 771\text{ gramas}$
- Areia: $621,82\text{ml} \times 2,65\text{ g/cm}^3 = 1647,8\text{ g} = 1648\text{ gramas}$
- Brita: $621,82\text{ml} \times 2,75\text{ g/cm}^3 = 1710\text{ gramas}$
- Água: $100\% = 6,0 \rightarrow x = 1,25 \rightarrow x = 20,83\% \rightarrow 0,2083 \times 1570,8\text{ml} = 327,25\text{ ml}$

Traço Corrigido

Novos percentuais de insumos por molde:

- Cimento: $1570,8\text{ml} = 100\% \rightarrow 248,76\text{ml} = x \rightarrow x = 15,84\% \rightarrow$ Traço: 1
- Areia: $1570,8\text{ml} = 100\% \rightarrow 621,82\text{ml} = x \rightarrow x = 39,59\% \rightarrow$ Traço: 2,5
- Brita: $1570,8\text{ml} = 100\% \rightarrow 621,82\text{ml} = x \rightarrow x = 39,59\% \rightarrow$ Traço: 2,5
- PET: $5\% \rightarrow$ Traço: $15,84\% = 1,0 \rightarrow 5\% = x \rightarrow x = 0,31565\dots$ (aproximadamente 1/3)

Figura 8 - Tabela resumo sobre a determinação do traço de concreto com adição de 5% de PET

	Percentual padrão [%]	Proporção Volumétrica [ml]	Novo percentual	Insumos por molde [gramas]	Definição do traço
CIMENTO	16,67	248,76	15,84	771 g	1
AREIA	41,67	621,82	39,59	1648 g	2,5
BRITA	41,67	621,82	39,59	1710 g	2,5
PET	-	78,54	5,00	1,2 garrafas	1/3

1: 2,5 : 2,5 : 1/3 - Cimento, Areia, Brita, PET.

8.4. TRAÇO B - ADIÇÃO DE 15% DE PET

Proporção Volumétrica

- 15% de PET = 235,62ml

- Volume composto por outros insumos: 1570,8 (total do molde) - 235,62 (PET) = 1335,18ml

Novos volumes de insumos por molde:

- Cimento: 1335,18ml = 100% --> x = 16,67% --> x = 222,57ml

- Areia: 1335,18ml = 100% --> x = 41,67% --> x = 556,37ml

- Brita: 1335,18ml = 100% --> x = 41,67% --> x = 556,37ml

- Água: 100% = 6,0 --> x = 1,25 --> x = 20,83% --> 0,2083 x 1570,8ml = 327,25 ml

Quantidade de agregados e massa unitária utilizada por molde

- PET = 235,62ml = 108,4g = 3,6 garrafas PET (embalagem comum de 2 litros)

- Cimento: 222,57ml x 3,10 g/ml = 689,97g = 690 gramas

- Areia: 556,37ml x 2,65 g/cm³ = 1474,38 g = 1474 gramas

- Brita: 556,37ml x 2,75 g/cm³ = 1530,02 g = 1530 gramas

- Água: 100% = 6,0 --> x = 1,25 --> x = 20,83% --> 0,2083 x 1570,8ml = 327,25 ml

Traço Corrigido

Novos percentuais de insumos por molde:

- Cimento: $1570,8\text{ml} = 100\% \rightarrow 222,57\text{ml} = x \rightarrow x = 14,17\% \rightarrow$ Traço: 1
- Areia: $1570,8\text{ml} = 100\% \rightarrow 556,37\text{ml} = x \rightarrow x = 35,42\% \rightarrow$ Traço: 2,5
- Brita: $1570,8\text{ml} = 100\% \rightarrow 556,37\text{ml} = x \rightarrow x = 35,42\% \rightarrow$ Traço: 2,5
- PET: $15\% \rightarrow$ Traço: $14,17\% = 1,0 \rightarrow 15\% = x \rightarrow x = 1,05857\dots$ (aproximadamente 1,05)

Figura 9 - Tabela resumo sobre a determinação do traço de concreto com adição de 15% de PET

	Percentual padrão [%]	Proporção Volumétrica [ml]	Novo percentual	Insumos por molde [gramas]	Definição do traço
CIMENTO	16,67	222,57	14,17	690 g	1
AREIA	41,67	556,37	35,42	1474 g	2,5
BRITA	41,67	556,37	35,42	1530 g	2,5
PET	-	235,62	15,00	3,6 garrafas	1,05

1 : 2,5 : 2,5 : 1,05 - Cimento, Areia, Brita, PET.

8.5. TRAÇO C - ADIÇÃO DE 30% DE PET

Proporção Volumétrica

- 30% de PET = 471,24ml

- Volume composto por outros insumos: $1570,8$ (total do molde) - $471,24$ (pet) = $1099,56\text{ml}$

Novos volumes de insumos por molde:

- Cimento: $1099,56\text{ml} = 100\% \rightarrow x = 16,67\% \rightarrow x = 183,3\text{ml}$

- Areia: $1099,56\text{ml} = 100\% \rightarrow x = 41,67\% \rightarrow x = 458,19\text{ml}$

- Brita: $1099,56\text{ml} = 100\% \rightarrow x = 41,67\% \rightarrow x = 458,19\text{ml}$

- Água: $100\% = 6,0 \rightarrow x = 1,25 \rightarrow x = 20,83\% \rightarrow 0,2083 \times 1570,8\text{ml} = 327,25\text{ ml}$

Quantidade de agregados e massa unitária utilizada por molde

- PET = 471,24ml = 216,77g = 7,2 garrafas PET (embalagem comum de 2 litros)
- Cimento: 183,3ml x 3,10 g/ml = 568,23g = 568 gramas
- Areia: 458,19ml x 2,65 g/cm³ = 1214,20g = 1214 gramas
- Brita: 458,19ml x 2,75 g/cm³ = 1260,02g = 1260 gramas
- Água: 100% = 6,0 --> x = 1,25 --> x = 20,83% --> 0,2083 x 1570,8ml = 327,25 ml

Traço Corrigido

Novos percentuais de insumos por molde:

- Cimento: 1570,8ml = 100% --> 183,3ml = x --> x = 11,67% --> Traço: 1
- Areia: 1570,8ml = 100% --> 458,19ml = x --> x = 29,17% --> Traço: 2,5
- Brita: 1570,8ml = 100% --> 458,19ml = x --> x = 29,17% --> Traço: 2,5
- PET: 30% --> Traço: 11,67% = 1,0 --> 30% = x --> x = 2,5706941.. (aproximadamente 2,6)

Figura 10 - Tabela resumo sobre a determinação do traço de concreto com adição de 30% de PET

	Percentual padrão [%]	Proporção Volumétrica [ml]	Novo percentual	Insumos por molde [gramas]	Definição do traço
CIMENTO	16,67	183,3	11,67	568 g	1
AREIA	41,67	458,19	29,17	1214 g	2,5
BRITA	41,67	458,19	29,17	1260 g	2,5
PET	-	471,24	30,00	7,2 garrafas	2,6

1 : 2,5 : 2,5 : 2,6 - Cimento, Areia, Brita, PET.

8.6. TABELA RESUMO DE QUANTIDADES DE AGREGADOS POR MOLDE**Figura 11 – Tabela de resumo de quantidades de agregados por molde**

	Referência	Traço A - 5%	Traço B - 15%	Traço C - 30%
Cimento	261,85 ml	248,76 ml	222,57 ml	183,30 ml
Areia	654,55 ml	621,82 ml	556,37 ml	458,19 ml
Brita	654,55 ml	621,82 ml	556,37 ml	458,19 ml
PET	-	78,54 ml	235,62 ml	471,24 ml
Água	327,25 ml	327,25 ml	327,25 ml	327,25 ml

** A proporção de água se mantém nos diferentes traços, sofrendo pequenas variações conforme a temperatura ambiente no dia e local do ensaio.*

9. MOLDAGEM E DESMOLDAGEM DOS CORPOS DE PROVA

Os corpos-de-prova utilizados para o desenvolvimento deste trabalho possuíam as dimensões de 10 cm x 20 cm (diâmetro x altura) e a moldagem e cura dos mesmos foram realizadas de acordo com as orientações da Norma Técnica Brasileira NBR 5738.

Os traços foram executados com proporção 50% superior ao necessário para enchimento dos moldes padrão para melhorar a qualidade e uniformidade das amostras. Sendo definidas as quantidades de cada insumo para confecção das doze amostras conforme tabela a seguir:

Figura 12 – Tabela de resumo de consumo de materiais utilizada nos ensaios

	Quantidade necessária para enchimento dos moldes padrão	Quantidade utilizada para preparo de todos os traços
Cimento	8523 gramas	12785 gramas
Areia	18213 gramas	27320 gramas
Brita	18900 gramas	28350 gramas
PET	1084 gramas (37 garrafas)	1626 gramas (55 garrafas)
Água	3927 ml (4 litros)	5891 ml (6 litros)

Assim, os insumos eram misturados separadamente em quantidades para moldagem de quatro corpos de prova, sendo que o primeiro corpo de prova a ser moldado era o de referência. Posteriormente os traços com adição de PET eram misturados um de cada vez em um caixote a parte, onde era adicionada a quantidade de aproximadamente 2350 ml de concreto, que corresponde a 1,5 vezes a quantidade mínima necessária para enchimento de cada corpo de prova e misturada à sua respectiva proporção de PET. Em seguida os corpos de prova eram moldados e o caixote era limpo com água corrente para a reutilização no processo. O caixote utilizado para a mistura dos insumos era molhado antes de cada experimento, para evitar a absorção de água pela madeira que o compõe.

Para realização deste ensaio, além dos insumos determinados, a Norma Técnica prevê o uso de óleo mineral, portanto foi utilizada Vaselina Sólida da marca: Dimec, para revestir as áreas

internas dos moldes com uma fina camada, evitando assim a aderência entre os corpos de prova e os moldes padrão.

- **Figura 13: Óleo mineral / Vaselina Sólida da Marca Dimec, utilizada para revestir as paredes dos moldes**



A mesma NBR prevê também as características da haste para adensamento manual, que deve ser de aço, cilíndrica, com superfície lisa, de 16mm de diâmetro e comprimento de 600mm a 800mm, com um ou os dois extremos em forma semiesférica, com diâmetro igual ao da haste. De acordo com as dimensões do molde e seu formato, a norma técnica determina a quantidade de camadas em que se deve colocar o concreto nos moldes e também o número de golpes para o adensamento necessário. Portanto os moldes foram posicionados em local plano, próximo ao local destinado a sua cura inicial (local plano, rígido e livre de vibrações) e foi colocado o concreto nos mesmos até a metade, depois foi distribuído o conteúdo de forma simétrica com a haste, em movimento circular, então com a mesma haste foi realizado o adensamento manual, com seis golpes distribuídos na superfície do concreto, evitando-se encostar no fundo do molde. Em seguida, foi colocado o restante do concreto, em quantidade um pouco maior que a necessária, de forma a preencher todo o volume do molde e possibilitar seu rasamento com a colher de pedreiro, eliminando o material em excesso e nivelando a superfície do molde.

Na sequência, os corpos de prova foram identificados e permaneceram em local protegido de intempéries e cobertos com lona, para evitar a perda de água até a sua desmoldagem.

- **Figura 14: Corpos de prova após a desmoldagem e cura por 7 dias (da esquerda para a direita: Traço Referência, Traço A, Traço B, Traço C)**



Após 24 horas da realização do procedimento de moldagem, os corpos de prova foram desmoldados, destravando-se os pinos de fechamento lateral do molde e retirando-os cuidadosamente para evitar danos aos mesmos até a cura determinada para o estudo.

Os corpos de prova desmoldados foram imersos em um balde com capacidade de aproximadamente 20 litros cheio de água.

Conforme já descrito anteriormente, os moldes foram rompidos nas idades de 3, 7 e 28 dias, tendo ficado em processo de cura até aproximadamente duas horas antes da realização dos ensaios, quando foram retirados do balde de água e colocados em local plano até a realização do ensaio.

10. CRONOGRAMA E DADOS DO ENSAIO DE COMPRESSÃO

Os ensaios de compressão foram realizados no Laboratório de Engenharia e Materiais de Construção do Unis, com sede na Cidade Universitária.

Os corpos de prova foram moldados em uma obra situada no bairro Alta Villa, que foi usada como laboratório para a execução dos traços de concreto e dos moldes a serem estudados. Os moldes permaneceram na referida obra até a hora dos ensaios.

O ensaio consiste em determinar o carregamento máximo suportado pelo corpo de prova ao ser comprimido até a sua ruptura.

- Figura 15: Ensaio de rompimento dos corpos de prova



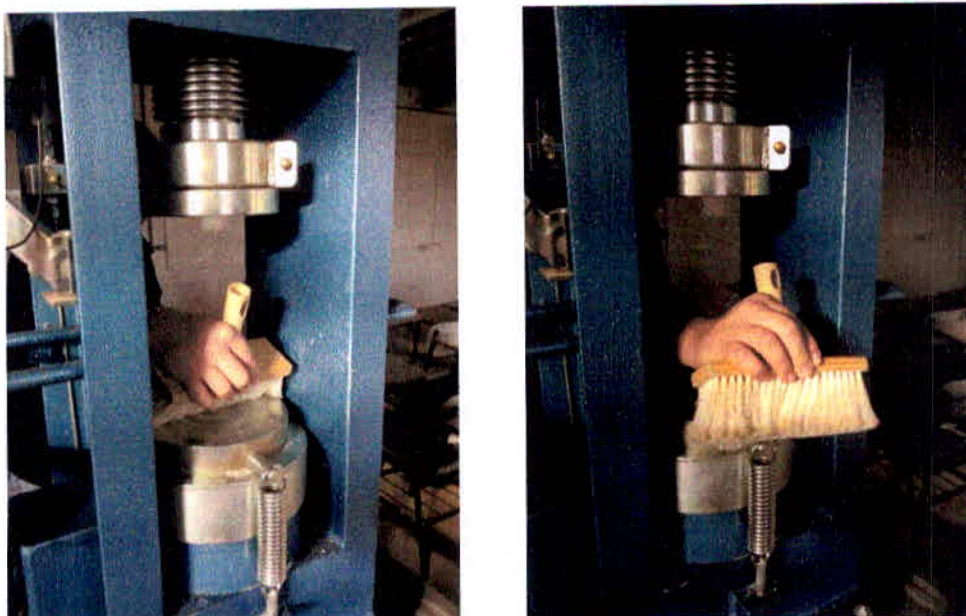
- Figura 16: Detalhe do indicador digital da prensa hidráulica



- Figura 17: Ensaio de rompimento dos corpos de prova (Traço referência a ser rompido e Traço C após ruptura)



- Figura 18: Limpeza realizada na prensa hidráulica após cada ensaio de ruptura



O resultado é retirado da prensa hidráulica em toneladas e para calcular o F_{ck} , é necessário aplicar o conceito de tensão para converter de toneladas para a unidade usual que determina a resistência à compressão, o MPa. Para isso, deve-se considerar a carga aplicada dividida pela área da superfície do molde. Tensão é igual a uma força F aplicada à determinada área A , e compatibilizar as unidades para gerar o resultado na unidade de tensão desejada. Neste caso, a área é referente à superfície de contato, com diâmetro de 10cm. Os resultados foram convertidos para MPa, conforme a seguir:

10.1. Ensaio de resistência à compressão dos corpos de prova com idade de 3 dias:

- Dados do ensaio: - Data e hora da moldagem: 06/05/2014 às 8:30h
- Data e hora da desmoldagem: 07/05/2014 às 09h
- Data e hora do rompimento: 09/06/2014 às 10:45h

Figura 19 – Tabela de resultados do rompimento dos corpos de prova na idade de 3 dias

	Referência	Traço A	Traço B	Traço C
Carga de Ruptura [ton]	9,22	4,56	2,62	1,05
Tensão de Ruptura [MPa]	11,7	5,8	3,3	1,3

10.2. Ensaio de resistência à compressão dos corpos de prova com idade de 7 dias:

- Dados do ensaio: - Data e hora da moldagem: 06/05/2014 às 9h
- Data e hora da desmoldagem: 07/05/2014 às 09h
- Data e hora do rompimento: 13/05/2014 às 10:20h

Figura 20 – Tabela de resultados do rompimento dos corpos de prova na idade de 7 dias

	Referência	Traço A	Traço B	Traço C
Carga de Ruptura [ton]	10,72	7,78	4,50	1,86
Tensão de Ruptura [MPa]	13,7	9,9	5,7	2,4

10.3. Ensaio de resistência à compressão dos corpos de prova com idade de 28 dias:

- Dados do ensaio: - Data e hora da moldagem: 06/05/2014 às 9:30h
- Data e hora da desmoldagem: 07/05/2014 às 09h
- Data e hora do rompimento: 03/06/2014 às 15h

Figura 21 – Tabela de resultados do rompimento dos corpos de prova na idade de 28 dias

	Referência	Traço A	Traço B	Traço C
Carga de Ruptura [ton]	20,01	16,24	8,17	4,30
Tensão de Ruptura [MPa]	25,5	20,7	10,4	5,5

Os resultados foram organizados em gráficos representados pelas figuras 20 e 21 a seguir:

Figura 22 – Gráfico de resultados do rompimento dos corpos de prova nas idades de 3, 7 e 28 dias – Tempo de cura [dias] pela Resistência à compressão [MPa]

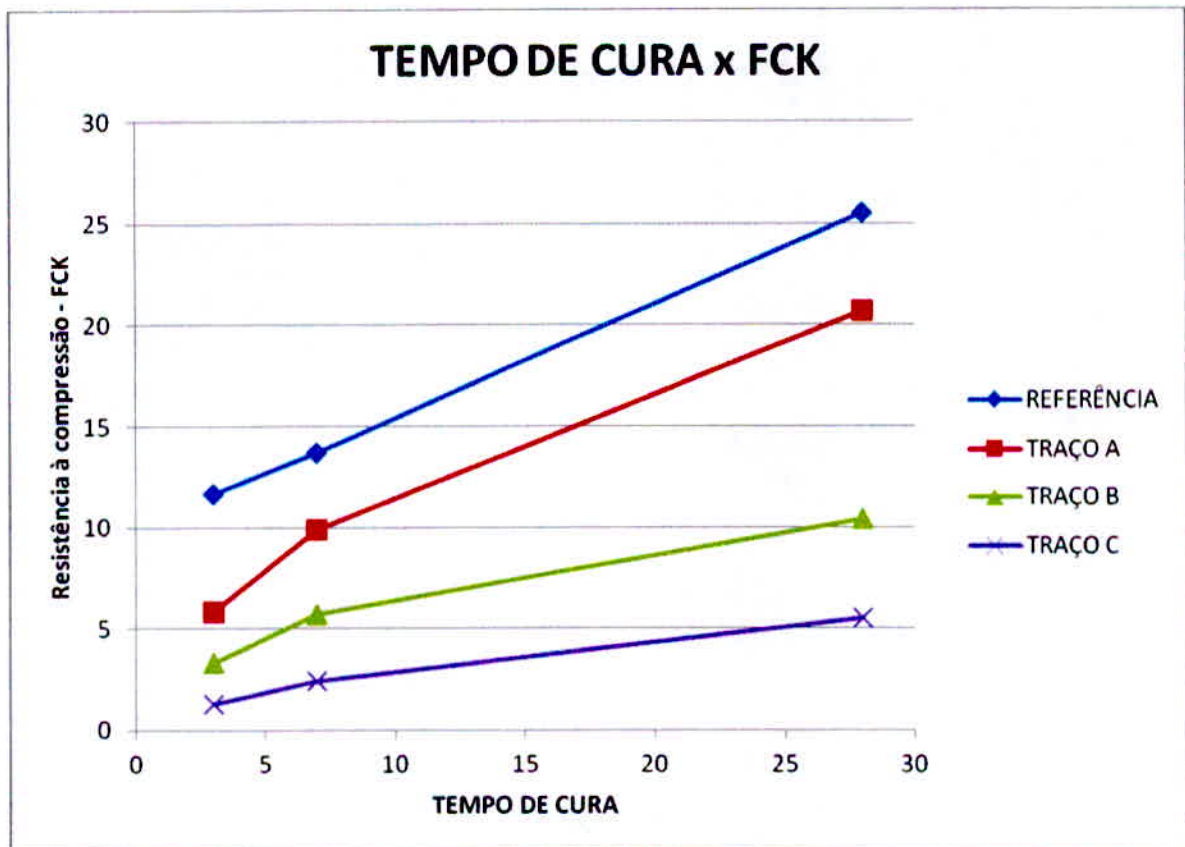
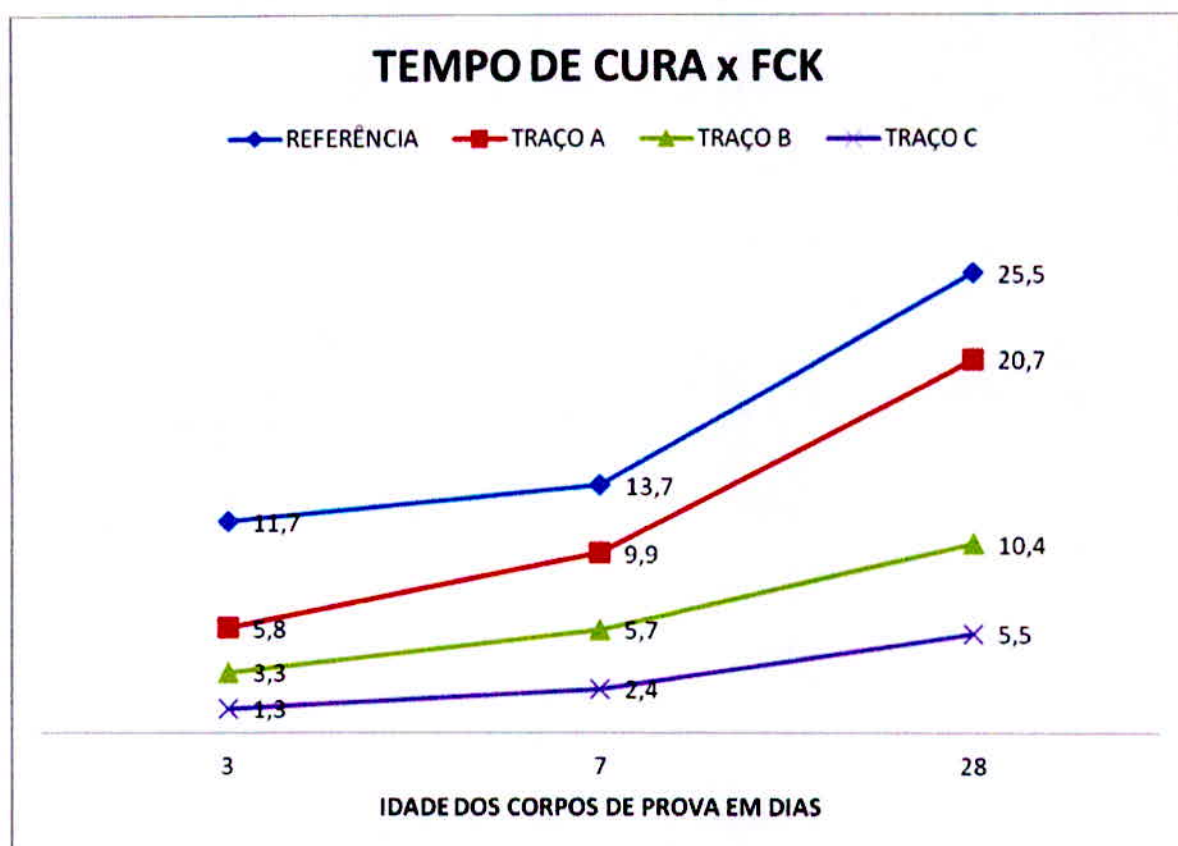


Figura 23 – Gráfico de resultados dos ensaios de rompimento à compressão dos corpos de prova nas idades de 3, 7 e 28 dias – Resultados apresentados em MPa x dias



11. IMPACTOS ECONÔMICOS

Os impactos econômicos da implementação das embalagens PET no concreto são muito representativos e atraentes. Para cada garrafa PET acrescida ao concreto, aumenta-se o volume do concreto final, ou seja, este insumo considerado lixo, passa a substituir outros insumos que compõem o concreto.

A composição de custos representada abaixo contempla apenas o custo dos materiais em preços de mercado. Desconsiderando-se para tal, os valores referentes à mão de obra, despesas fixas (energia/água/equipamentos,etc) e demais custos envolvidos no processo.

Os preços foram gerados com base no preço de venda aplicado no mês de junho na cidade de Varginha. Foram orçados os materiais em três estabelecimentos comerciais e realizada uma média aritmética dos valores para determinação do preço adotado na composição de custos a seguir.

Os dados apresentados a seguir apontam que o concreto com maior teor de adição de PET, chega a custar 30% menos que o concreto convencional e o com menor teor de adição, custa 5% menos que o traço de referência. Ou seja, a cada 10m³ de concreto utilizados na obra, caso se efetive a utilização do traço com maior teor de adição, o proprietário estaria pagando apenas 70% deste valor, ou seja, pagaria somente por 7m³ de concreto. A economia é muito considerável e atraente. Porém deve-se analisar conjuntamente ao orçamento, se a resistência obtida com o traço adotado irá suportar as necessidades de seu projeto. A análise deve ser técnica-financeira e oferecer segurança e economicidade ao projeto.

Figura 24 – Tabela com proporção volumétrica dos insumos por traço

	REFERÊNCIA	TRAÇO A - 5%	TRAÇO B - 15%	TRAÇO C - 30%
Cimento	166,7 litros	158,4 litros	141,7 litros	116,7 litros
Areia	416,7 litros	395,8 litros	354,2 litros	291,7 litros
Brita	416,7 litros	395,8 litros	354,2 litros	291,7 litros
PET	-	50,0 litros	150,0 litros	300,0 litros

Figura 25 – Tabela de preços dos materiais utilizados para 1m³ do traço de referência

	VOLUME [LITROS]	QUANTIDADE UTILIZADA	PREÇO DOS INSUMOS	VALOR [R\$ / m ³]
Cimento	166,7	0,1667 m ³	R\$ 546 / m ³	91,01
Areia	416,7	0,4167 m ³	R\$ 54,55 / m ³	22,73
Brita	416,7	0,4167 m ³	R\$ 76,67 / m ³	31,95
PET	-	-	-	-
PREÇO FINAL POR METRO CÚBICO DE CONCRETO =				R\$ 145,69

Figura 26 – Tabela de preços dos materiais utilizados para 1m³ do traço com 5% de PET

	VOLUME [LITROS]	QUANTIDADE UTILIZADA	PREÇO DOS INSUMOS	VALOR [R\$ / m ³]
Cimento	158,4	0,1584 m ³	R\$ 546 / m ³	86,49
Areia	395,8	0,3958 m ³	R\$ 54,55 / m ³	21,60
Brita	395,8	0,3958 m ³	R\$ 76,67 / m ³	30,35
PET	50,0	0,05 m ³	-	-
PREÇO FINAL POR METRO CÚBICO DE CONCRETO =				R\$ 138,44
<i>* 50 litros de garrafas PET equivalem a 770 embalagens PET de 2 litros.</i>				

Figura 27 – Tabela de preços dos materiais utilizados para 1m³ do traço com 15% de PET

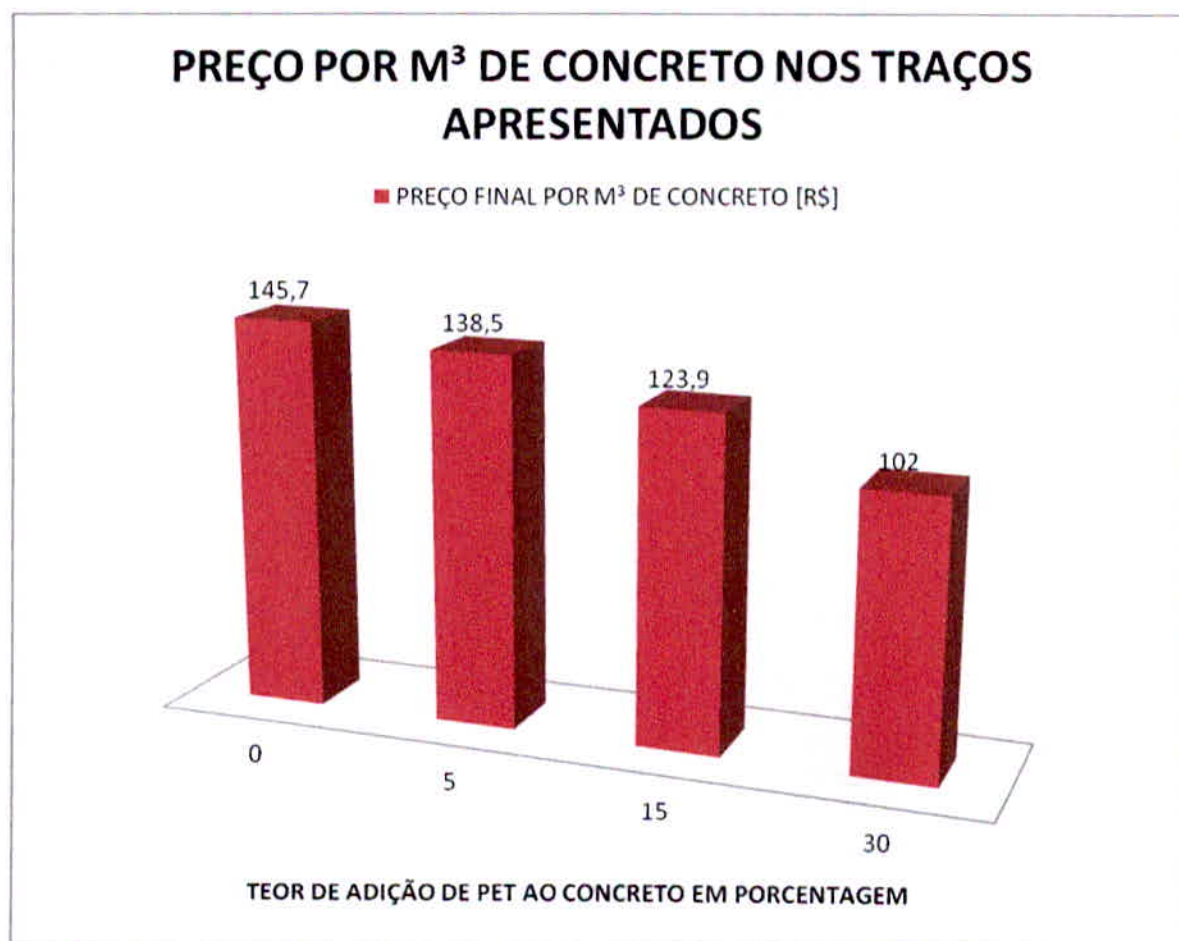
	VOLUME [LITROS]	QUANTIDADE UTILIZADA	PREÇO DOS INSUMOS	VALOR [R\$ / m ³]
Cimento	141,7	0,1417 m ³	R\$ 546 / m ³	77,37
Areia	354,2	0,3542 m ³	R\$ 54,55 / m ³	19,32
Brita	354,2	0,3542 m ³	R\$ 76,67 / m ³	27,16
PET	150,0	0,150 m ³	-	-
PREÇO FINAL POR METRO CÚBICO DE CONCRETO =				R\$ 123,85
<i>* 150 litros de garrafas PET equivalem a 2308 embalagens PET de 2 litros.</i>				

Figura 28 – Tabela de preços dos materiais utilizados para 1m³ do traço com 30% de PET

	VOLUME [LITROS]	QUANTIDADE UTILIZADA	PREÇO DOS INSUMOS	VALOR [R\$ / m ³]
Cimento	116,7	0,1167 m ³	R\$ 546 / m ³	63,72
Areia	291,7	0,2917 m ³	R\$ 54,55 / m ³	15,91
Brita	291,7	0,2917 m ³	R\$ 76,67 / m ³	22,37
PET	300	0,3 m ³	-	-
PREÇO FINAL POR METRO CÚBICO DE CONCRETO =				R\$ 102,00

* 300 litros de garrafas PET equivalem a 4616 embalagens PET de 2 litros.

Figura 29 – Gráfico de impactos econômicos – Preço final por [R\$/ m³] para cada teor de adição de PET [%]



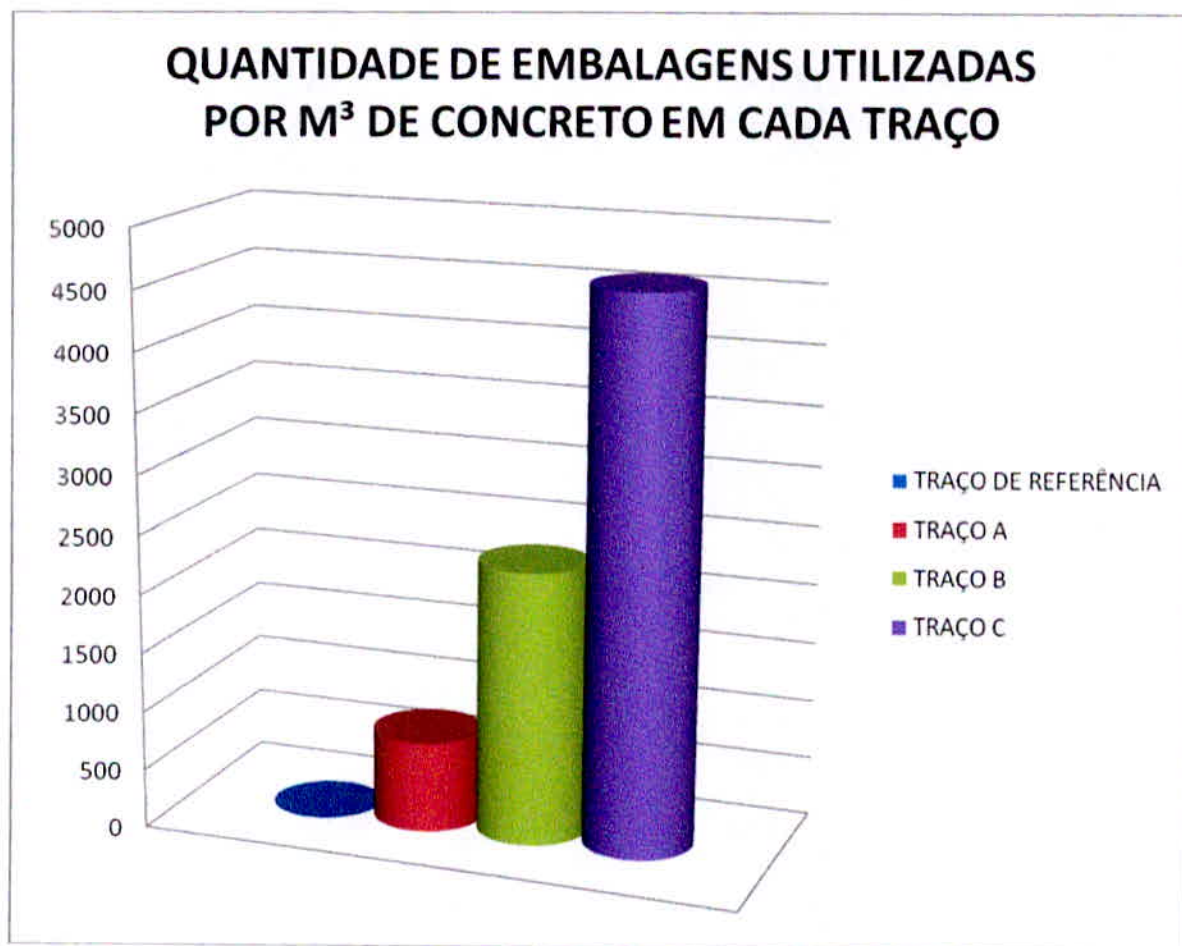
12. IMPACTOS AMBIENTAIS

Os impactos ambientais são imediatos, para cada garrafa que vai para a obra, uma sai da natureza, dos rios, é notável a relevância ecológica da utilização de resíduos de PET como agregado para o concreto, criando-se uma forma de reutilizar este material e de destinação sustentável do mesmo. As embalagens PET são cada vez mais utilizadas em novos produtos que são lançados a cada dia e transbordam nas paisagens urbanas atuais. Qualquer forma para reutilizar esse “lixo”, beneficia diretamente o meio ambiente e a preservação dos recursos naturais, entre muitos outros benefícios.

A embalagem de garrafa PET de 2 litros picada, possui massa de 30 gramas e ocupa o volume de aproximadamente 65ml, ou seja, as dimensões da garrafa PET são reduzidas em mais de 30 vezes, já que a embalagem original ocupa o volume de aproximadamente 2 litros. E a cada metro cúbico de concreto para as amostras testadas, pode-se chegar a utilizar mais de **4600 garrafas de 2 litros**.

Para se ter uma ideia do impacto ambiental que esta medida poderia produzir, pode-se adotar um exemplo de uma obra de uma calçada residencial. Somente para executar a calçada de uma residência com dimensões de 12 por 2,5 metros de área, com 15 centímetros de altura, seriam necessários 4,5 m³ de concreto, onde poderiam ser usadas de aproximadamente 3.500 a mais de 20.000 garrafas PET com as proporções de 5% a 30%, respectivamente. Devido à baixa massa específica do PET, muitas embalagens são utilizadas para a produção de cada metro cúbico de concreto, fator que salienta a viabilidade desta utilização e de estudos aprofundados que visem melhorar a aderência dos insumos e as características do concreto acabado.

- Figura 30 – Gráfico de impactos ambientais – Quantidades de embalagens utilizadas por m³ de concreto em cada traço determinado



13. VIABILIDADE DO PET COMO AGREGADO

Desde o início do presente estudo, tem-se objetivado verificar a viabilidade da utilização do Pet como agregado para produção de concreto. Vários ensaios e processos foram cumpridos em prol da criação de dados, que possam embasar uma análise clara do tema e definir a exequibilidade destes novos traços de concreto. Para realizar essa análise, deve-se passar por vários fatores que envolvem não só as características do concreto, como também as características da obra e a respectiva demanda de projeto. Então o diagnóstico deve partir do próprio projeto a ser executado, para depois ser verificada a viabilidade do emprego deste ou daquele produto. Ainda assim, os traços com adição de 15% e 30% de PET, propostos neste estudo, foram previamente descartados após os testes, conforme melhor detalhado a seguir.

Nas amostras incluindo PET em qualquer proporção, a resistência a compressão foi diminuída, isto posto ficou evidente que o PET diminui o Fck do concreto na medida em que se aumenta o seu teor de adição. Todavia em baixo teor de adição a resistência não foi significativamente afetada. Quando se incluiu 5% de resíduos de PET no traço de concreto convencional, verificou-se que a resistência a compressão caiu 19% ao final dos 28 dias. E o preço por metro cúbico de concreto para este teor de adição pode cair aproximadamente 5%, ou seja, dependendo das exigências de projeto referentes à obra, o traço A, com adição de 5% de PET pode ser viável.

Foi observado um fenômeno interessante nas amostras incluindo o agregado PET. Elas apresentaram uma evolução mais lenta do processo de cura, certamente devido à presença do PET, e sua resistência nas idades iniciais de 3 e 7 dias foram relativamente inferiores às apresentadas na idade de 28 dias. Para exemplificar podemos citar o caso das amostras com teor de adição de 5%, onde na idade de 3 dias sua resistência à compressão foi 50% inferior ao da amostra de referência; na idade de 7 dias, sua resistência ficou 30% inferior; e na idade de 28 dias, a diferença entre o Fck da amostra padrão (sem adição de PET) e da amostra representada pelo Traço A, foi de aproximadamente 20%.

Com os Traços B e C, ocorreu o mesmo fenômeno, onde na amostra com teor de adição de 15% de PET, o valor de Fck se iniciou 70% inferior ao da amostra padrão e chegou a obter o Fck 60% inferior. E na amostra com teor de adição de 30% de PET a resistência caiu nas primeiras idades em até 90% e chegou a 80% da resistência apresentada pelo concreto convencional. Os dados apresentados neste parágrafo inviabilizaram a utilização de tais traços

de concreto, independente do tipo de obra, devido a grande e negativa interferência destes volumes de PET na resistência final do produto.

Com relação à aderência entre os pedaços de PET e os insumos presentes no concreto, foi verificado que os “flakes” de PET se integram muito bem ao concreto, tornando-o uma mistura uniforme de boa trabalhabilidade. Somente no traço C, devido ao alto teor de PET, foi necessária uma adição extra de água para possibilitar sua mistura, vibração e moldagem por corpos de prova. Isso se reflete no corpo de prova final, aumentando a presença de poros devido ao aumento da quantidade de água e ao alto volume do agregado PET.

Após a ruptura, os corpos de prova foram quebrados em pedaços menores, onde foi observado que os pedaços de PET ficam totalmente integrados no concreto, praticamente se escondem na mistura, o que prova sua capacidade de aderência aos outros insumos. Porém deve-se atentar para não vibrar em demasia este tipo de concreto, correndo o risco de os pedaços de PET emergirem à superfície empurrando o agregado graúdo para o fundo do molde/fôrma.

Quanto à apresentação visual, o concreto acabado quase não se diferencia com os variados traços, em virtude de os pedaços de PET estarem bem integrados à mistura. Sendo aconselhável o emprego de outros tipos de embalagens PET.

14. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O lixo é um problema que vem se agravando rapidamente em todo o mundo. Mudanças radicais devem surgir nos âmbitos político, cultural e econômico para combater esse vilão. O setor público precisa fazer seu papel e dar a devida importância para esta questão, sempre deixada em segundo plano e de péssima remuneração. Além disso, as leis moldam o comportamento das pessoas e cabe ao setor público conduzir a sociedade a hábitos mais sustentáveis, ou seja, devem ser criadas leis para reduzir o uso de embalagens que degradam a natureza e facilitar a entrada no mercado de embalagens que não afetam o meio ambiente, como as biodegradáveis. Assim seria reduzido o número de embalagens no meio ambiente, como por exemplo as garrafas PET e isso conseqüentemente reduziria a quantidade a ser produzida e reciclada/reutilizada. O estímulo mercadológico ao consumismo exacerbado, faz com que a população produza níveis cada vez maiores de lixo, que dispõem sem nenhum receio em plena via pública, em rios, etc. Portanto a principal mudança deve ser cultural, partindo de determinações legais para mudar também a conduta das pessoas. Mas a solução não vem somente “de cima”, deve partir de cada um buscando atitudes como a reutilização dos resíduos que são gerados todos os dias. Conclui-se então que redirecionar o lixo produzido pela sociedade para um mercado em constante expansão como o da construção civil, pode ser considerado como uma válvula de escape importante para minimizar os prejuízos causados pelo lixo.

Portanto o concreto agregado ao PET picado, nas pesquisas realizadas até o presente momento, apresenta certa tendência a possuir, em teor de adição a determinar, resistência a compressão aproximada ou até maior que a apresentada pelo concreto convencional. Espera-se que as partículas de “lixo”, se integrem aos insumos utilizados em um traço convencional de concreto e que possam enrijecer sua estrutura, sem comprometer significativamente suas características. Ou seja, espera-se aumentar a resistência a compressão, agregar valor ao concreto produzido, atender critérios de responsabilidade social e reduzir os custos de obras residenciais. Porém, ainda trata-se de suposições, que somente poderão ser confirmadas após a conclusão das amostras e ensaios.

Com os trabalhos já realizados, pode-se verificar que medidas neste sentido devem ser estimuladas e encorajadas pelo poder público e pela população em geral. A construção civil tem trazido grandes impactos ao meio ambiente, devido aos grandes desperdícios resultantes

dos métodos convencionais de construção que ainda estão longe de serem abandonados. Assim, este produto se apresenta como uma alternativa para a construção civil compensar e reduzir os danos que causa diariamente a natureza, popularizar novos produtos ambientalmente responsáveis e incrementá-los em obras de concreto armado.

15. CONCLUSÕES

Após a realização dos estudos e ensaios com os corpos de prova de diferentes teores de adição de PET e em diferentes idades, foram determinadas algumas características do PET como agregado para o concreto: quanto a sua capacidade de interação com os insumos usualmente utilizados no concreto (água, areia, brita e cimento), pode-se concluir que os pedaços de PET apresentaram boa eficácia, se mesclando aos demais insumos de forma a tornar o concreto como um só material, melhorando sua propensão a possuir maior rigidez.

Com relação à influência dos flakes de PET no concreto convencional, constatou-se que estes interferem negativamente no concreto, diminuindo sua capacidade de resistência a compressão, o Fck, entretanto em baixos teores de adição, essa influência tem menor representatividade e pode inviabilizar seu emprego graças à uma redução apresentada no preço final dos insumos, pela inclusão do agregado PET no volume de concreto.

O concreto convencional possui melhor trabalhabilidade e sua cura precede a dos traços com inclusão de PET, tornando estes últimos menos rijos que os últimos nas primeiras idades, fato que poderia interferir na data para retirada das fôrmas, em caso de utilização deste produto em obras comuns.

Certamente os impactos ambientais são os mais significativos e extremamente positivos, sendo muito considerável o número de 770 garrafas PET de 2 litros, empregadas a cada metro cúbico de concreto para o traço com menor teor de adição, caracterizado pelo Traço A. Todas estas garrafas que poderiam estar poluindo os rios e as paisagens das cidades, serão reutilizadas e irão agregar valor a estas edificações, que poderão até receber um selo ecológico pela colaboração com a preservação dos recursos naturais e pelo emprego do lixo na produção de novas obras.

Os impactos econômicos foram mais modestos, diante da relativa redução no Fck das amostras com PET, frente ao pequeno abatimento no custo final do produto. Verifica-se que a maior vantagem ainda se refere ao ganho para o meio ambiente.

Diante destas afirmações, o concreto associado ao PET, teve sua resistência comprometida, contudo somente o Traço A, com adição de 5% de PET, foi considerado viável para emprego em obras não estruturais com solicitações de esforços predominantemente de compressão, mas nenhuma das amostras PET expôs propriedades que a tornasse apta a substituir o concreto convencional em qualquer tipo de obra.

Novas pesquisas na área devem se amparar em ensaios complementares e mais aprofundados antes de qualificar este produto para uso nas obras em geral. É recomendado para novos projetos admitir também pedaços de PET de outras cores e provenientes de outros tipos de embalagens, em consequência desta boa capacidade de se fundir aos outros insumos apresentada na pesquisa e ao fato de ficarem ocultos no concreto acabado.

Da mesma forma recomenda-se que para estudos similares futuros, seja utilizado o PET triturado ao invés de picado, pois a mistura poderia se tornar mais homogênea, compacta e rija, resolvendo-se também o problema de trabalhabilidade apresentado nas amostras que compuseram o Traço C.

16. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABIPET- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS FABRICANTES DE EMBALAGENS PET. Disponível em: <www.abipet.org.br>
- ABNT NBR 5738/2007 - Concreto - Procedimento para moldagem e cura dos corpos de prova.
- ABNT NBR 5739/2007 - Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos.
- ABNT NBR 9776/1987 - Agregados - Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco de Chapman.
- ARAÚJO, Márcio Augusto. A moderna construção sustentável. IDHEA - Instituto para o Desenvolvimento da Habitação Ecológica, 2008.
- CANELLAS, Susan Sales. Reciclagem de PET, visando a substituição de agregado miúdo em argamassas / Susan Sales Canellas; – Dissertação (mestrado) Rio de Janeiro: PUC-Rio, 2005. Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.
- DA COSTA, Luciângela Galletti; VALLE, Rogério. Logística reversa: importância, fatores para a aplicação e contexto brasileiro, 2006.
- ENGINEERING RESEARCH FOUNDATION CERF, Pesquisa internacional realizada pela, entidade ligada ao American Society of Civil Engineers (ASCE) dos Estados Unidos.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – Sistema Nacional de Pesquisas de custos e índices da Construção Civil.
- JOHN, Vanderley M.; AGOPYAN, Vahan. Reciclagem de resíduos da construção. SEMINÁRIO RECICLAGEM DE RESÍDUOS SÓLIDOS DOMÉSTICOS, 2000.

- L. S. Rodrigues. utilização do resíduo sólido pet (polietileno tereftalato) na fabricação de blocos de concreto estrutural para pavimentos rígidos Universidade Federal do Amazonas, <http://www.cbecimat.com.br>
- LEITE, Mônica Batista. Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição. 2001.
- MARANGON, EDERLI. Aspectos do comportamento e da degradação de matrizes de concreto de cimento Portland reforçados com fibras provenientes da reciclagem de garrafa pet. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul–UNIJUÍ. Ijuí, 2004.
- MODRO, NLRi et al. Avaliação de concreto de cimento Portland contendo resíduos de PET. Revista Matéria, v. 14, n. 1, p. 725-736, 2009.
- O portal da revista plástico moderno. www.plástico.com.br.
- RAZZOLINI FILHO, Edelvino; BERTÉ, Rodrigo. O reverso da logística e as questões ambientais no Brasil. Livraria Saraiva, 2009.
- ROCHA, Janaíde Cavalcante; CHERIAF, Malik. Aproveitamento de resíduos na construção. Coletânea Habitare, v. 4, 2003.
- ROMÃO, Wanderson; SPINACÉ, Márcia AS; DE PAOLI, Marco-A. Poli (tereftalato de etileno), PET: Uma revisão sobre os processos de síntese, mecanismos de degradação e sua reciclagem. Polímeros: Ciência e Tecnologia, v. 19, n. 2, p. 121-132, 2009.
- SONCIM, S.P.;ATHAIDE JR.,GILSON; FERRARI, M.J.; ALMEIDA, M.O., O emprego do Resíduo de Reciclagem de garrafas PET (Polietileno Tereftalato) como agregado em reforço de subleitos de rodovias, 2007, Faculdade de Engenharia, Universidade Vale do Rio Doce.
- www.cempre.org.br – Compromisso Empresarial pela Reciclagem.