



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE – UFCG
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS-CTRN
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA CIVIL - UAEC

UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS POLIMÉRICOS NA PRODUÇÃO DE
BLOCO DE CONCRETO PARA PISO INTERTRAVADO
EM DIFERENTES CONDIÇÕES CLIMÁTICAS DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

MICKAEL PETRONIO DA SILVA

CAMPINA GRANDE - PB

2019

MICKAEL PETRONIO DA SILVA

**UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS POLIMÉRICOS NA PRODUÇÃO DE
BLOCO DE CONCRETO PARA PISO INTERTRAVADO
EM DIFERENTES CONDIÇÕES CLIMÁTICAS DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para conclusão do curso de Graduação em Engenharia Civil na Universidade Federal de Campina Grande, em cumprimento as exigências para obtenção do título de Bacharelado em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof. Dra. Marília Marcy Cabral de Araujo.

Co-orientador: Prof. Me. Cláudio Luis de Araújo Neto.

CAMPINA GRANDE – PB

2019

Trabalho de conclusão do curso de graduação apresentado ao curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Campina Grande- PB como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em: _____ de _____ de _____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dra. Marília Marcy Cabral de Araujo - Orientadora

Prof^a. Dra. Aline Figueirêdo Nóbrega de Azerêdo

Eng. Francisco de Assis da Costa Neto

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, por ser essencial e grandioso em minha vida, autor do meu destino, por ser um socorro presente na hora da angústia.

Em especial ao meu pai, minha mãe, a minha namorada, as minhas irmãs e sobrinho. A toda a minha família que, com muito apoio e carinho se mantiveram presentes apesar da distância física, e que não mediram esforços para que eu chegasse até esta etapa da minha vida.

Dedico aos colegas e professores com quem convivi nesses espaços durante todos esses anos. A experiência compartilhada, os desafios vividos juntos, as trocas de conselhos foram as melhores sensações da minha formação acadêmica.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Prof. Dra. Marília Marcy Cabral de Araujo e ao Prof. Cláudio Luís de Araújo Neto, pelos textos traduzidos, pela excelente orientação, por não deixar-me desistir, pelo seu grande desprendimento em ajudar.

Agradeço ao técnico Edivaldo do laboratório de Materiais e Estrutura da Universidade Federal de Campina Grande-PB pelo seu empenho no auxílio a execução dos corpos de provas e placas.

Agradeço ao técnico Joselito do laboratório de Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande-PB.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Amostra do modelo do piso intertravado utilizado neste trabalho.....	17
Figura 2: Delimitação do polígono da seca.....	18
Figura 3: Medição de temperatura do piso intertravado <i>in loco</i>	19
Figura 4: Mapa brasileiro de chuva dirigida com base nos dados de 2004.....	21
Figura 5: Peneiramento da areia.....	23
Figura 6: Peneiramento da brita.....	24
Figura 7: Peneiramento do PET.....	25
Figura 8: Frasco de Chapman após adição da amostra do agregado miúdo.....	26
Figura 9: Ensaio de massa específica real da amostra do agregado miúdo PET.....	27
Figura 10: Ensaio sendo realizado com agregados miúdos e agregado graúdo: (a) Areia ; (b) Brita; (c): PET.....	28
Figura 11: Amostra de corpo de prova submerso em água em um tanque.....	31
Figura 12: Corpos de prova depositados em estufa.....	31
Figura 13: Procedimento (a) do concreto finalizado seguindo para a (b) confecção dos corpos de provas e (c) sendo encaminhados para o tempo de cura após a confecção.....	33
Figura 14: Ensaio de resistência de compressão.....	33
Figura 15: Equipamento para teste de exposição as chuvas dirigidas.....	35
Figura 16: Dimensões das áreas de impacto para alturas de 0,7m e 0,8m.....	39
Figura 17: Amostra do agregado miúdo.....	40
Figura 18: Distribuição granulométrica da areia.....	42
Figura 19: Amostra do agregado graúdo.....	43
Figura 20: Distribuição granulométrica da brita 0.....	44
Figura 21: Resíduos poliméricos.....	45
Figura 22: Distribuição granulométrica dos resíduos poliméricos.....	46
Figura 23: Teste de slump sem êxito.....	48
Figura 24: Corpos de prova M5 com defeito.....	48
Figura 25: Ensaio de chuvas dirigidas.....	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Classificação do grau de exposição em função do ICD.....	20
Tabela 2: Ensumos utilizados na confecção dos blocos.....	22
Tabela 3: Composição de fatores e variáveis.....	29
Tabela 5: Variação da energia cinética em função da altura da aplicação do jato.....	37
Tabela 6: Determinação do tempo de ensaio em função da precipitação.....	38
Tabela 7: Valores definidos como característica do agregado miúdo.....	41
Tabela 8: Valores definidos como características do agregado graúdo.....	43
Tabela 8: Valores definidos com característica do agregado miúdo PET.....	46
Tabela 10: Resultados médio do ensaio de absorção de água.....	47
Tabela 11: Resultados médio do ensaio de resistência a compressão à temp. de 51°C.....	48
Tablea 12: Resultados médio do ensaio de resistência a compressão à temp. de 25°C.....	49
Tabela 13: Resultados obtidos após ensaio de chuva dirigida.....	50

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Limite de distribuição da granulometria do agregado miúdo.....	41
Quadro 2 : Limites da composição granulométrica do agregado graúdo.....	43
Quadro 3: Limites de distribuição da granulometria do agregado miúdo (PET).....	45

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	13
2 OBJETIVO GERAL.....	15
3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
4 REFERENCIAL TEÓRICO.....	16
4.1 BLOCO DE CONCRETO PARA PISO INTERTRAVADO	16
4.2 CLIMA SEMIÁRIDO BRASILEIRO	17
4.3 MATERIAL POLIMÉRICO (GARRAFAS PET)	19
4.4 ÍNDICE DE CHUVA DIRIGIDA.....	20
5 MATERIAIS E METODOS	22
5.1 MATERIAS.....	22
5.1.1 Caracterização dos Agregados.....	22
5.1.2 Composição Granométrica.....	23
5.1.3 Massa Específica Real (δ).....	25
5.1.4 Massa Unitária.....	27
5.2 PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS	29
5.3 CONTROLE DE QUALIDADE	30
5.3.1 Densidade Aparente.....	30
5.3.2 Absorção de Água (A)	30
5.3.3 Resistência à Compressão (f_c).....	32
5.3.4 Ensaio de Chuva Dirigida	35
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	40
6.1 AGREGADO MIÚDO	40
6.2 AGREGADO GRAÚDO.....	42
6.3 RESÍDUOS POLIMÉRICOS	44
6.4 ÍNDICE DE ABSORÇÃO DE ÁGUA.....	47
6.3 RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO DO CONCRETO	48
6.4 RESISTÊNCIA AO ENSAIO DE CHUVA DIRIGIDA	49
7 CONCLUSÃO.....	51
8 REFERÊNCIAS	51

**UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS POLIMÉRICOS NA PRODUÇÃO DE
BLOCO DE CONCRETO PARA PISO INTERTRAVADO
EM DIFERENTES CONDIÇÕES CLIMÁTICAS DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO**

Mickael Petronio da Silva
Prof. Dra. Marília Marcy
Prof. Me. Cláudio Luis de
Araújo Neto

RESUMO

O uso de novos materiais e técnicas pode adequar-se para obtenção de um produto final que possui características inovadoras e desejáveis. Este trabalho buscou avaliar a aplicação de resíduos poliméricos oriundos do processo de reciclagem na produção de blocos para pisos intertravados, com substituição parcial da areia, avaliando o comportamento do produto final submetido às condições climáticas do semiárido brasileiro. Para classificação dos insumos, foi realizado ensaios de caracterização dos agregados e em seguida, tendo como variáveis os percentuais de resíduos poliméricos e o fator água/cimento, foi efetuado combinações entre as variáveis com o intuito de reduzir o número de ensaios a serem realizados, e em paralelo, realizou-se uma análise das propriedades dos blocos produzidos com adição de resíduos poliméricos, com as configurações que correspondem ao modelo padrão, onde não há adição de resíduos, através dos ensaios de controle de qualidade. Os corpos de prova apresentaram resultados satisfatórios, demonstrando ser viável a utilização de resíduos poliméricos para produção de pisos intertravados.

Palavras-chave: Piso intertravado, Resíduos, Polietileno (PET).

ABSTRACT

The use of new materials and techniques may be appropriate to obtain a final product that has innovative and desirable features. This work aims to evaluate the application of polymeric waste from the recycling process in the production of interlocking blocks, with partial replacement of the sand, evaluating the behavior of the final product submitted to the climatic conditions of the Brazilian semiarid. For the classification of inputs, aggregate characterization tests were performed and then, having as variables the percentages of polymeric residues and the water / cement factor, combinations were made between the variables in order to reduce the number of tests to be performed, and in parallel, an analysis of the properties of the blocks produced with addition of polymeric residues was performed, with the configurations that correspond to the standard model, where there is no addition of residues, through the quality control assays. The specimens presented satisfactory results, demonstrating to be viable the use of polymeric residues for production of interlocked peeps

Keywords: Interlocking floor, Waste, Polyethylene (PET).

1 INTRODUÇÃO

A construção civil consome grande parte dos recursos naturais sendo responsável por gerar resíduos que interferem no meio ambiente. O bem estar dos seres vivos, com ênfase para o ser humano, muitas vezes sofre interferência positiva com a utilização de descobertas científicas para a geração de bens de consumo. O uso de novos materiais e técnicas podem adequar-se na obtenção de um produto final que possuem características inovadoras e desejáveis. Dessa forma surgiu, no final do século passado, a propagação do uso de embalagens “descartáveis”, principalmente as garrafas elaboradas com resina de politereftato de etileno (PET), foram substituindo o uso de garrafas tradicionais de vidro (MODRO *et al.* 2009).

Em 2016 a confecção mundial de plásticos chegou aos 335 milhões de toneladas. No Brasil alguns fatores proporcionam o déficit da reciclagem de plástico em consequência da ausência de incentivo fiscal, destinação final inapropriada dos resíduos pós-consumo e a falta de planejamento de coletas seletivas. (PLASTICS EUROPE, 2017). O aumento populacional agravou a exploração de matéria-prima dando início a um desequilíbrio na recuperação do meio ambiente. Por isso, deve-se haver um consenso social no quesito desenvolvimento sustentável, ao qual tenha uma maior redução, reutilização e reciclagem de resíduos não comprometendo as fontes naturais de obtenção de matéria prima. Assim, é constituído na lei 6.938/1981, especificamente, no art. 225, que todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para os presentes e futuras gerações (BRASIL, 1981).

Nessa perspectiva, afirma-se que a problemática dos resíduos sólidos nas construções sempre existiu, mas “[...] foi ao longo da última década, que este tema adquiriu seu espaço sob o ponto de vista legislativo” (FARIA, 2011, p.14). Portanto, faz-se necessário observar a crescente preocupação no que diz respeito à destinação adequada e das possibilidades de novas utilizações para os resíduos, modificando o senso comum que classifica estes materiais como um “lixo”, que merece apenas o descarte transcendendo para o pensamento de sustentabilidade e preocupação com o meio ambiente (SANTAELLA *et al.* 2014).

Visando buscar uma solução ecológica que auxilie na reutilização de resíduos sólidos, coube a necessidade de buscar alternativas que proporcionem a elaboração de ferramentas e novos materiais que diminuam a intensidade da degradação ao meio ambiental e ameaças à saúde pública. Buscando um novo sentido ao uso dos Resíduos Poliméricos, utilizou-se da reciclagem e ampliação dos recursos na construção civil.

Portanto, este trabalho busca avaliar a aplicação de resíduos poliméricos na construção civil que introduzam o conceito de sustentabilidade, por meio da introdução de porcentagens (10%,20%,30%) deste material oriundo da reciclagem sobre o percentual da areia, para a produção de blocos ornamentais ecológicas de concreto para pisos, em combinação com o fator de água/cimento e em condições climáticas específicas , especialmente, provenientes do clima semiárido brasileiro. Essas condições climáticas podem modificar as características físicas dos corpos de prova, devido a atuação do intemperismo físico, por isso foi analisado em laboratório o efeito da temperatura e do desgaste por chuva dirigida.

2 OBJETIVO GERAL

Estudar a viabilidade da aplicação de resíduos poliméricos oriundos do processo de reciclagem na produção de blocos para pisos intertravados, com substituição parcial da areia, avaliando o comportamento do produto final submetido às condições climáticas do semiárido brasileiro.

3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar os insumos utilizados para confecção de blocos;
- Determinar o melhor traço para produção dos blocos de concreto com substituição de resíduos;
- Realizar um controle de qualidade por meio de ensaios em laboratório de densidade, absorção e resistência mecânica;
- Comparar as propriedades entre os blocos de concreto com adição de resíduos e os blocos de concreto sem a adição dos resíduos.
- Analisar o desempenho do produto com substituição de resíduos poliméricos nas condições climáticas do semiárido brasileiro (temperatura e precipitação).

4 REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 BLOCO DE CONCRETO PARA PISO INTERTRAVADO

A pavimentação com blocos de concreto de cimento Portland, também denominados de piso intertravado, possui a vantagem de ser versátil do ponto de vista de arranjos arquitetônicos, comunicação visual, sinalização horizontal, tanto para pistas de rolamento de veículos quanto para calçamentos laterais de vias públicas e praças (BALBO, 2005). Tem como principais características, capacidade estrutural, durabilidade, conforto térmico, economia de energia elétrica, permite o sinal de alerta, a diversidade de cores e formatos, contribui para a arquitetura do entorno, propicia a drenagem do pavimento, possibilitando infiltração de água no subsolo (ABCP, 2012a; ABCP, 2012b).

O piso intertravado é um tipo de pavimento em que o revestimento é formado por blocos de concreto que leva em sua composição cimento, areia fina, brita 0 (conhecida como cascalhinho) e com intertravamento por areia de selagem. As cargas a que o pavimento é exposto são distribuídas pelos blocos e resistidas em conjunto, por isso a importância do intertravamento adequado. A principal característica é a alta resistência a zonas de tráfego intenso e abrasão além da capacidade de ser antiderrapante, determinando o seu uso em praças, calçadas, garagens, rampas para automóveis, ambientes internos, bordas de piscina etc. Este tipo de revestimento possui grandes vantagens, tais como: as peças podem ser removidas e reutilizadas; vários modelos, cores e combinações; harmonia com o meio-ambiente; liberação para o tráfego logo após sua aplicação; a superfície antiderrapante; conforto de rolamento; vários modelos, cores e combinações (VIEIRA *et al* 2010) .

A NBR 9781 (ABNT, 1987) estabelece que suas características técnicas devem ser controladas e comprovadas por testes de qualidade em laboratórios após 28 dias de sua fabricação, apresentando os limites a seguir: Absorção de água: o valor médio das amostras ensaiada deve obedecer ao limite máximo de 6%; Resistência ao desgaste por abrasão: até 23 mm para tráfego de pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linha; Módulo de ruptura à flexão: - valor médio da amostra $\geq 35,0$ MPa; A NBR 9781/87 indica como normas complementares: NBR 5732/91 – Cimento Portland comum – Especificação; NBR 5733/91 – Cimento Portland de Alta Resistência Inicial – Especificação; NBR 5734/89 – Peneiras para Ensaios – Especificação; NBR 6482 – Pisos Cerâmicos – Determinação das Dimensões – Método de Ensaio. (MARQUES, 2012).

Para este trabalho, foi adotado um modelo de blocos prismáticos retangular de dimensões de 20 cm de comprimento, 10 cm de largura e 6 cm de espessura, Figura 1. Este modelo geralmente é utilizado no revestimento de calçadas com a função de ornamentação e maior vida útil da calçada e em casos provisórios de assentos como bancos de concreto.

Figura 1: Amostra do modelo do piso intertravado utilizado neste trabalho



Fonte: Própria, 2019.

4.2 CLIMA SEMIÁRIDO BRASILEIRO

Dentro do território brasileiro apresenta uma área de aproximadamente 1,55 milhões de km² correspondendo ao Nordeste, nesta área 62% representa o Polígono das Secas, uma região semiárida de 990 mil km², que abrange nove Estados do Nordeste (Figura 2). É uma região marcada por um problema crônico de escassez de água e chuva abaixo de 800 mm por ano. No Semiárido vivem aproximadamente 30 milhões de pessoas, ou cerca de 15% da população nacional. (MARENGO, 2008).

Figura 2: Delimitação do polígono da seca



Fonte: Ministério da Integração Nacional, 2005.

O clima do semiárido brasileiro no interior da região Nordeste revela uma precipitação média acumulada inferior a 600 mm/ano. Os meses de fevereiro a maio corresponde ao período chuvoso da região norte, área que abrange a maior parte do semiárido. Já estação seca ocorre, na maior parte da região, entre os meses de agosto e outubro. (MARENGO et al 2011).

De acordo com Ramalho (2013) a precipitação por ano varia de 150 mm a 1300mm com temperaturas elevadas, a máxima em torno de 40⁰ C e a média em torno de 28°C. A umidade relativa do ar é em geral, aproximadamente, 50%, insolação média anual é de 2.800 horas, com taxas médias de evaporação de 2.000 mm/ano. As regiões de serra, devido a sua altitude, as condições microclimáticas se apresentam com temperaturas mais amenas, com média por ano de 22⁰ C e 23⁰ C. Em alguns lugares a temperatura pode chegar aos 45⁰ C, nos dias de maiores insolações como mostra a Figura 3 e a noite pode atingir 10 ° C a 15⁰ C. Com médias anuais de chuva em torno dos 600 mm, essas condições climáticas acabam promovendo os fenômenos de intemperismo.

Figura 3: Medição de temperatura do piso intertravado *in loco*



Fonte: T & A Blocos e Pisos, 2004.

4.3 MATERIAL POLIMÉRICO (GARRAFAS PET)

Foi desenvolvido pelo Instituto de Macromoléculas um material intitulado de madeira plástica, proveniente a partir do lixo plástico urbano da cidade do Rio de Janeiro. O produto foi registrado no Instituto Nacional de Propriedade Industrial (IN PI) com o nome de IMA WOOD®, que consiste basicamente de mistura de LDPE/HDPE (polietileno de baixa densidade e de alta densidade) na proporção 3: 1. O produto pode substituir diversos materiais, principalmente a madeira natural, com inúmeras vantagens, já que pode ser serrado, aparafusado, pregado e aplainado. Outro tipo de material desenvolvido nos Laboratórios do Centro Federal de Tecnologia do Paraná/Cefet-PR (Aguiar,2004) são os blocos intertravados ISOPET, confeccionados em concreto leve com EPS (isopor) reciclado e produzido a partir de garrafas plásticas recicladas. Estes blocos apresentam encaixes laterais no sistema macho e fêmea propiciando seu intertravamento; desta forma, não é necessário a utilização de argamassa, exceto na primeira fiada (CANELLAS; D'ABREU, 2005).

Com percentuais de substituição do polímero acima de 30%, a resistência à compressão axial apresentara urna perda significativa da capacidade portante, aos 28 dias, em relação a argamassa referência. Esta diminuição da resistência à compressão é atribuída adiminuição do

adensamento devido ao arranjo entre os grãos em virtude do módulo de elasticidade do PET que retorna a sua posição inicial após a compactação aumentando consideravelmente a porosidade do material. (CANELLAS; D'ABREU, 2005).

A substituição, de areia natural por flocos de PET na produção de concretos, demonstrou ser possível para substituições até 30%, no traço em volume, salientando ainda os diversos benefícios ambientais deste reaproveitamento. A fragmentação de garrafas PET, para substituição de areia em argamassas, só será economicamente lucrativa, via coleta através de programas sociais e/ou que impliquem na necessidade de educação e remediação ambiental e através de programas governamentais visando a confecção de mobiliários urbanos. A criação de programas sociais que visem a remediação do meio ambiente, aliado à possibilidade do auxílio à melhorias nas moradias de comunidades carentes, através de confecção de tijolos, blocos para pavimentação, meio-fio, e de todos os materiais pré-moldados utilizados na urbanização destas comunidades, viabilizariam certamente este novo material com seu correspondente procedimento construtivo. (CANELLAS; D'ABREU, 2005).

4.4 ÍNDICE DE CHUVA DIRIGIDA

O Índice de Chuva Dirigida (ICD), classificado inicialmente por Lacy (1965) em três categorias de agressividade, foi posteriormente alterado por Chand e Bhargava (2002) os quais propuseram uma quarta classificação devido à necessidade de abranger valores de ICD superiores a $11 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ mostrado na Tabela 1.

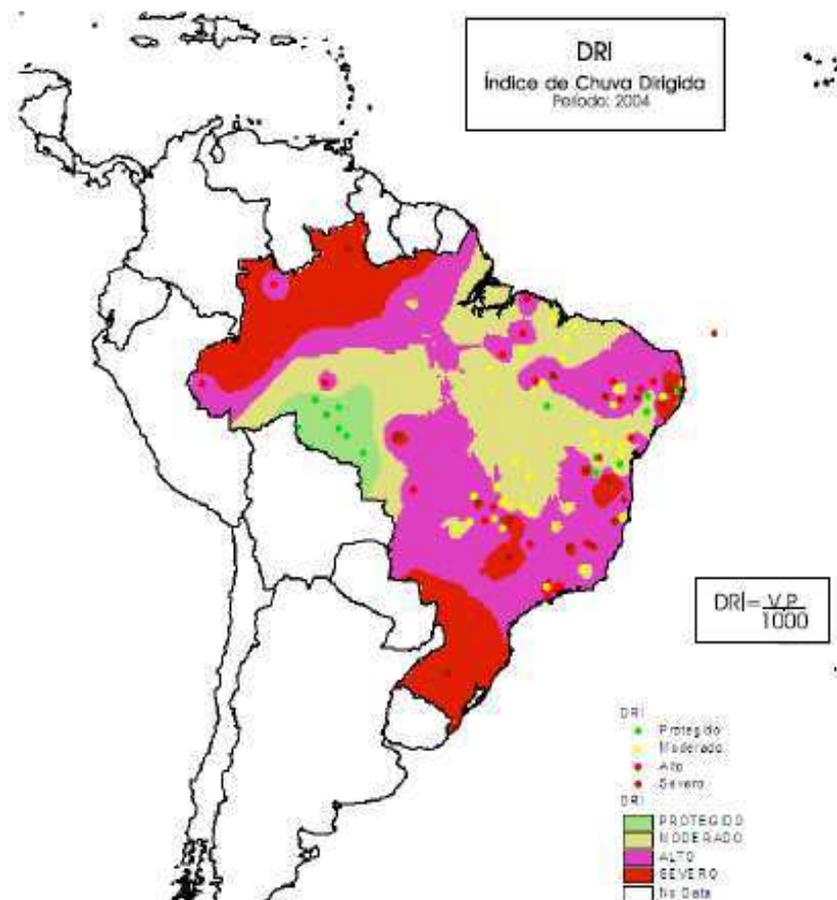
Tabela 1 - Classificação do grau de exposição em função do ICD

Faixa ICD	Grau de exposição
$\text{ICD} \leq 3 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	Protegido
$3 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1} \geq \text{ICD} \leq 7 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	Moderado
$7 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1} \geq \text{ICD} \leq 11 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	Alto
$\text{ICD} > 11 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	Severo

Fonte: Chand e Bhargava, 2002.

Entretanto, o ICD pode ser utilizado quando o objetivo é classificar e comparar o grau de exposição entre regiões. Lima e Morelli (2005) desenvolveram o primeiro mapa de chuvas dirigidas do Brasil (Figura 4), com base nos dados meteorológicos de 2004 e adotando a classificação de Chand e Bhargava (2002).

Figura 4: Mapa de brasileiro de chuva dirigida com base nos dados de 2004



Fonte: Lima e Morelli, 2005.

A relação entre o índice de chuva dirigida e a quantidade de água recebida nas fachadas foi estabelecida por Henriques (1993) o qual realizou experimentos utilizando pluviômetros fixos nas paredes, posicionados livremente, concluindo que esta relação é de $1 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ (1 ICD) para $145 \text{ litros} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$.

A incidência da chuva dirigida no envelope das construções é influenciada pela direção do vento, afetando as fachadas de forma desigual em relação à intensidade e quantidade de chuva, desta forma o cálculo do ICD direcional (ICDd) é necessário, pois permite determinar qual fachada está mais exposta a chuva dirigida, uma vez que considera medições do vento em oito diferentes direções. Melo Junior e Carasek (2011), por meio de cálculos de ICDd, concluíram que na cidade de Goiânia, GO, as fachadas voltadas principalmente para o Norte e Noroeste estão mais expostas à incidência de chuvas dirigidas. Giongo et al. (2011),

5 MATERIAIS E METODOS

O presente trabalho atua na área de materiais para pavimentação de construção e estruturas das construções, analisando características do piso intertravado com resíduos de polietileno tereftalato (PET), nas diferentes temperaturas do semiárido brasileiro, com temperatura simulado em estufa elétrica e ensaio de chuva dirigida para análise de desgaste.

5.1 MATERIAS

Para a produção dos blocos utilizou-se o cimento (CP II Z - 32), areia natural fina oriunda do Rio Paraíba, brita granítica tipo 0 (zero), e PET. Este último material foi coletado dos resíduos gerados durante o processo de reciclagem de uma empresa de produção de plásticos. A substituição parcial da areia por percentuais de resíduos poliméricos termoplásticos oriundos da reciclagem onde possuem baixa densidade se deu na proporção de 10%, 20% e 30%, como demonstrado na Tabela 2.

Tabela 2: Insumos utilizados na confecção dos blocos

MATERIAIS	TIPO DO MATERIAL	TRAÇO
Cimento	CP II Z – 32	1
Areia	Fina	2
Brita	Brita 0	3
Polímero	Reciclado	0%, 10%; 20%; 30%
Água	Potável	a/c de 0,65 e 0,50

Fonte: Própria, 2019.

5.1.1 Caracterização dos Agregados

Para a determinação das características dos agregados graúdos e miúdos, foram realizados os ensaios listados:

- NBR NM 248 (ABNT, 2003) - Agregados: Determinação da composição granulométrica;
- ME 194 (DNER, 1998) – Agregados: Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco de Chapman;
- NBR NM 45 (ABNT, 2006) – Agregados: Determinação da massa unitária e do volume de vazios.

5.1.2 Composição Granulométrica

A análise granulométrica foi realizada de acordo com a NBR NM 248 (ABNT, 2003). A granulometria fornece três parâmetros importantes: o módulo de finura, o \varnothing_{max} do agregado (diâmetro máximo característico), e a curva de distribuição granulométrica.

O módulo de finura corresponde à soma das porcentagens retidas acumuladas da série de peneiras, dividindo por 100 (cem), e o diâmetro máximo característico, corresponde a abertura da peneira em milímetro, cujo percentual retido acumulado seja igual ou imediatamente inferior a 5% do volume de ensaio.

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

AREIA

Selecionou-se 1,0 kg de amostra do agregado (para esta pesquisa, selecionou uma amostra de 1,0 kg), em seguida fez-se o peneiramento. As peneiras, foram ajustadas em série normal (para o agregado miúdo a sequência foi, em numeração, 04; 08; 16; 30; 40; 50; 100, Figura 5. Utilizou-se um peneiramento manual seguindo as técnicas determinadas pelas as normas citadas anteriormente e contando sempre com a experiência do laboratorista.

Figura 5: Peneiras da areia



Fonte: Própria, 2019.

Após a amostra passar por cada peneira, fez-se a pesagem para obter o percentual retido e o percentual que passou nas peneiras postas sucessivamente.

BRITA

Seleciona-se uma amostra do agregado (para esta pesquisa, selecionou uma amostra de 3,0 kg), em seguida fez-se o peneiramento. As peneiras, foram ajustadas em série normal (para o agregado miúdo a sequência foi, em abertura da malha em milímetros (mm), 9,5; 4,8; 2,4; 1,2; 0,6, 0,30; 0,15, com base na NBR 248, Figura 6. Utilizando um peneiramento manual seguindo sempre as técnicas determinadas pelas as normas citadas anteriormente e contando sempre com a experiência do laboratorista.

Figura 6 : Peneiras da brita



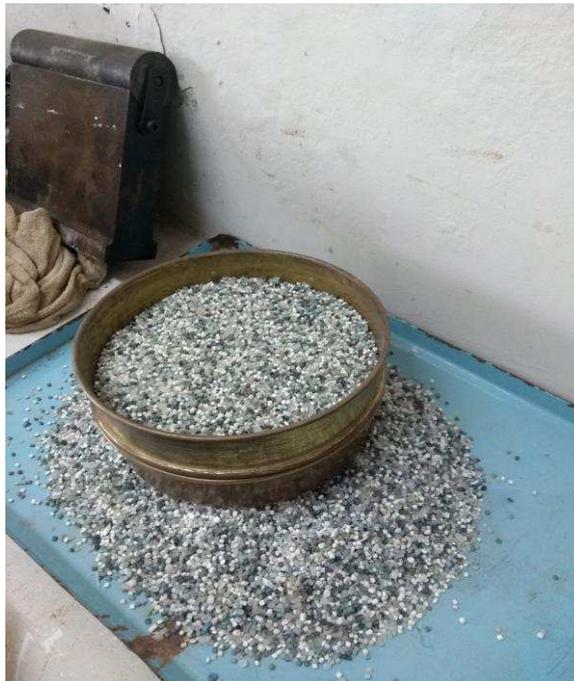
Fonte: Própria, 2019.

Após a amostra passar por cada peneira, fez-se a pesagem para obter o percentual retido e o percentual que passou nas peneiras postas sucessivamente.

POLIETILENO TEREFTALATO (PET)

Assim como os agregados anteriores, seleciona-se uma amostra do agregado (para esta pesquisa, selecionou uma amostra de 1,0 kg), Figura 7, em seguida fez-se o peneiramento. As peneiras, foram ajustadas em série normal (para o agregado miúdo a sequência foi, em numeração, 04; 08; 16; 30; 40; 50; 100). O peneiramento procedeu de forma manual seguindo sempre as técnicas determinadas pelas as normas citadas anteriormente e contando sempre com a experiência do laboratorista.

Figura 7: Peneiramento do PET



Fonte: Própria, 2019.

Após a mostra passar por cada peneira, fez-se a pesagem para obter o percentual retido e o percentual que passou nas peneiras postas sucessivamente.

5.1.3 Massa específica real (δ)

A análise da massa específica real do agregado miúdo foi realizado de acordo com a norma ME 194 (DNER, 1998), Figura 8, conforme procedimento descrito a seguir:

Figura 8: Frasco de Chapman após a adição da amostra do agregado miúdo



Fonte: Própria, 2019.

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

- Pesou-se 500 g de agregado miúdo;
- Secou-se a amostra de agregado em estufa a 110 °C por 24 horas, e esperou o resfriamento até temperatura ambiente após ter retirado da estufa;
- Adicionado água no frasco Chapman, até a marca de 200 cm³;
- Introduziu-se cuidadosamente os 500 g de agregado no frasco, com auxílio de um funil;
- Agitou-se o frasco, cuidadosamente, com movimentos circulares, para a eliminação das bolhas de ar e as paredes do frasco não ter grãos aderidos;
- Faz-se a leitura final do nível da água, que representa o volume de água deslocado pelo agregado (L).
- Para a determinação da massa específica, utilizou-se da Equação 01 descrita a seguir:

$$\delta = \frac{500}{L - 200} \quad (1)$$

Sendo que:

δ – Massa específica (g/cm³);

L – Leitura final do nível de água (cm³).

Para o polietileno tereftalato faz-se a análise da massa específica real, Figura 9, porém o material por ter uma densidade menor que a da água não submergiu e conseqüentemente não gerou deslocamento de volume da água.

Figura 9: Ensaio de massa específica real da amostra do agregado miúdo PET



Fonte: própria, 2019.

5.1.4 Massa Unitária

O ensaio para definição da massa unitária dos agregados foi realizado de acordo com as especificações da NBR NM 45 (ABNT, 2006), Figura 10, procedeu-se da seguinte maneira:

Figura 10: Ensaio sendo realizado com agregados miúdos e agregado graúdo: (a) Areia ; (b) Brita; (c): PET



Fonte: Própria, 2019.

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL PELO MÉTODO C

- Registrou-se a massa do recipiente vazio (Para este ensaio utilizou-se um recipiente com volume de $10,82 \text{ dm}^3$). Em seguida, encheu – se o recipiente até que o mesmo transbordasse, utilizando uma pá, despejando o agregado de uma altura que não superou 50 mm acima da borda superior do recipiente;
- Foi nivelada a camada superficial do agregado utilizando uma régua metálica;
- Determinou-se e registrou a massa do recipiente mais agregado.
- Para a definição da massa unitária, utilizou-se da Equação 02 descrita a seguir:

$$\gamma = \frac{M(r+a) - Mr}{Vr} \quad (2)$$

Sendo que:

γ - Massa unitária (kg/dm³);

M (r+a) - Massa do recipiente mais amostra (kg);

Mr - Massa do recipiente (kg)

Vr - volume do recipiente (dm³).

Para o cimento foi pesquisado os valores de Massa Unitária, Peso Específico e Densidade Real, utilizando das referências observadas na embalagem. O cimento é do tipo CP II- Z 32 da marca Elizabeth, com Massa Unitária de 1420 kg/ m³ e Densidade Real de aproximadamente 1,44.

5.2 PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS

Foram confeccionados 7 traços para o concreto conforme descrito na Tabela 3.

Tabela 3: Composição de fatores e variáveis

BLOCO	FATOR A/C	% POLÍMERO
M1	0,65	0%
M2	0,65	10%
M3	0,65	20%
M4	0,65	30%
M5	0,50	10%
M6	0,50	20%
M7	0,50	30%

Fonte: Própria, 2019.

Desta forma, abrangendo todas as combinações das variáveis fator a/c e percentual de polímero, onde o fator a/c é um fator de combinação já que se refere a um elemento em que influencia diretamente nas características do concreto, e os resíduos poliméricos que terá uma porcentagem de adição com intervalos equidistantes.

Após o levantamento dos insumos e avaliação das suas características, os estudos e ensaios foram distribuídos em duas configurações, onde seus comportamentos serão avaliados separadamente e os resultados comparados.

5.3 CONTROLE DE QUALIDADE

Para o controle de qualidade foram realizados os ensaios de características físicas e o ensaio de durabilidade por chuva dirigida.

5.3.1 Densidade Aparente (ρ)

O ensaio de densidade aparente representa a qualidade do adensamento do concreto, estando relacionado com a umidade, com a granulometria dos agregados, com os vazios existentes, preenchidos, por exemplo, com água. Para a execução deste ensaio, faz-se necessário a confecção dos corpos de prova, onde são moldadas em fôrmas previamente tratadas com substância desmoldantes e encaminhadas para a espera do tempo de cura, e em seguida desmoldada.

Após a desmoldagem dos blocos, os corpos de prova são pesados e medidos, como mostra a Figura 08, para que seja definido a densidade média aparente das peças confeccionadas, utilizou-se o termo médio por se tratar de 3 corpos de prova para o ensaio, e calculado através da Equação 3 descrita a seguir.

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (3)$$

Onde:

ρ – Densidade aparente (kg/m³)

M – Massa (kg)

v – Volume (m³)

5.3.2 Absorção de Água (A)

O ensaio realizado para análise da resistência a absorção de água seguiu conforme está descrito no padrão metodológico proposto pela a NBR 9781 (ABNT, 2013), anexo B, para piso intertravado. Na Figura 11, temos os corpos de provas submersos em água e na Figura 12 os corpos de prova sendo colocados na estufa.

Figura 11: Amostra de corpo de prova submerso em água em um tanque



Fonte: Própria, 2019.

Figura 12: Corpos de provas depositados em estufa



Fonte: Própria, 2019.

O procedimento de análise para o ensaio de absorção de água está descrito a seguir, conforme a norma NBR 9781 (ABNT, 2013), anexo B.

➤ **PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL**

- Confeccionou-se os corpos de prova, que após o tempo de cura, foram desmoldados e limpos com o auxílio de uma escova macia;

- Imergiu os corpos selecionados em água potável em uma temperatura de (23 ± 5) °C, em um período de 24 horas;
- Retirou-se os corpos de prova da imersão e drenou o corpo de prova por 1 minuto, e removeu a água superficial identificada visualmente com o auxílio de um pano úmido ou papel toalha;
- Após está parcialmente seco, pesou-se individualmente, em balança com precisão de 0,1g, com isso se obterá o m_2 . Este procedimento deve ser repetido a cada 2 horas, até que a diferença não seja superior a 0,5% entre duas determinações sucessivas;
- Em seguida, direcionou-se os corpos de prova para uma estufa a uma temperatura de 110 °C, durante um período de 24 horas;
- Em seguida pesou-se individualmente os corpos de prova, e anotou o valor encontrado (m_1).
- Para a definição do teor de umidade, utilizou se a Equação 04 descrita a seguir:

$$A = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100 \quad (4)$$

Sendo que:

A - Índice de absorção de água expresso em porcentagem (%);

m_1 - Massa de corpo de prova seco em estufa (kg);

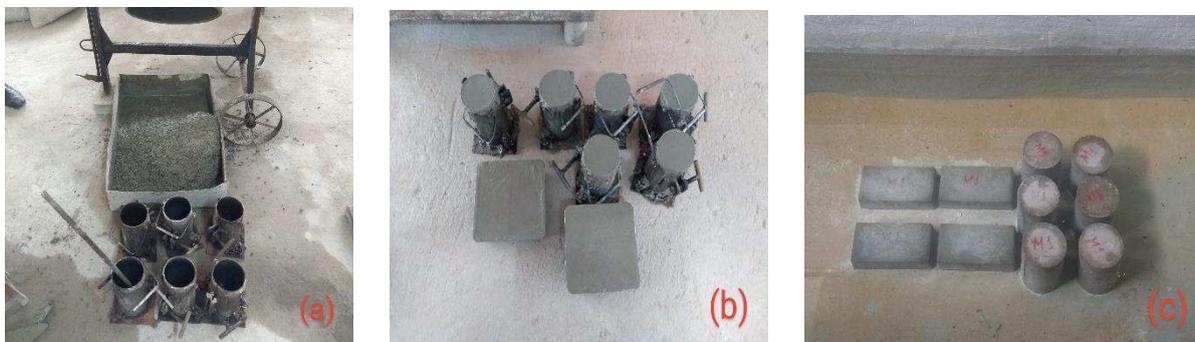
m_2 - Massa de corpo de prova saturado (%).

5.3.3 Resistência a compressão (fc)

Este ensaio é considerado o mais importante para a produção de pisos de concreto, pois este parâmetro é o primeiro a ser observado pelas normas nacionais e internacionais, e, pelo fato de estar relacionado com a capacidade da peça em resistir as tensões exercida sobre elas, sem que haja rupturas.

Para a definição da resistência a compressão dos blocos, utilizou-se do método descrito na NBR 5738 (ABNT, 2015), onde define os parâmetros para o procedimento de moldagem e cura dos corpos de prova, Figura 13, e a NBR 5739 (ABNT, 2007), que propõe o procedimento para execução e obtenção do ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos, Figura 14.

Figura 13: Procedimento (a) do concreto finalizado seguindo para a (b) confecção dos corpos de provas e (c) sendo encaminhados para o tempo de cura após a confecção



Fonte: Própria, 2019.

Figura 14: Ensaio de resistência a compressão



Fonte: Própria, 2019.

Os parâmetros observados para a execução dos corpos de prova foram realizados de acordo com a NBR 5738 (ABNT, 2015), onde apresenta-se as seguintes condições para a realização do ensaio:

- Os corpos de provas podem ser moldados em moldes cilíndricos, onde a altura deve ser igual ao dobro do diâmetro (10 x 20) cm, ou, moldes prismático (6 x 10 x 20)cm, para este trabalho utilizou-se o molde cilíndrico apenas para os corpos de prova de referência como recomenda a norma 5739, e para os demais o corpo de prova prismático, modelo adotado para o piso intertravado em estudo;

- Antes de realizar a moldagem dos corpos de prova, os moldes e suas bases devem ser revestidos internamente com um lubrificante com função de desmoldantes, e que tenha em sua função a não reação com o cimento (foi utilizado óleo de moto de carro);
- Após ocorrer a mistura dos agregados com o aglomerante, sendo posto do mais fino ao mais grosso, é realizada a moldagem dos corpos de prova, sendo que a mistura deve ser colocada dentro do molde em camadas e adensadas com uma haste de aço cilíndrica, com superfície lisa;
- Com a moldagem dos corpos de prova finalizado, estes devem ser mantidos em locais que não recebam nenhum tipo de vibração, e que seja plano;
- Após as primeiras 24 horas, os moldes devem ser removidos (para moldes cilíndricos) e receber identificação, em seguida os corpos de provas devem ser submersos em água parada sobre uma superfície plana, e sem sofrer vibrações durante um tempo de cura previamente definido (para este trabalho os tempos de cura foram de 07, 14 e 28 dias).

Para a execução do ensaio de compressão, os padrões normativos observados foram de acordo com a NBR 5739 (ABNT, 2007), onde o procedimento está descrito a seguir:

- Após cada tempo de cura, os corpos de prova foram previamente secos com toalha de tecido;
- Após o tempo de cura de 28 dias, os corpos de prova foram colocados em estufa com temperatura aproximadamente de 68°C no período das 9 horas da manhã até as 15 horas da tarde, simulando o período de maior insolação do dia;
- Encaminhados para a máquina de compressão (para este trabalho a máquina utilizada foi a tipo hidráulica), onde os pratos da máquina devem ser previamente limpos e os corpos de prova posicionados, cuidadosamente centralizados;
- As superfícies de carregamento deverão ser retificadas ou capeadas antes do ensaio, para uniformizar a área que irá receber a carga;
- O carregamento deve ser mantido e sem choque com uma velocidade de carregamento de $0,45 \pm 0,15$ Mpa. O carregamento é encerrado quando houver a

ruptura do corpo de prova;

- Para a definição da resistência a compressão, utilizou-se Equação 05 descrita a seguir:

$$f_c = \frac{4 \times F}{\pi \times D^2} \quad (5)$$

Sendo que:

f_c - Resistência a compressão expressa em Mpa (megapascal);

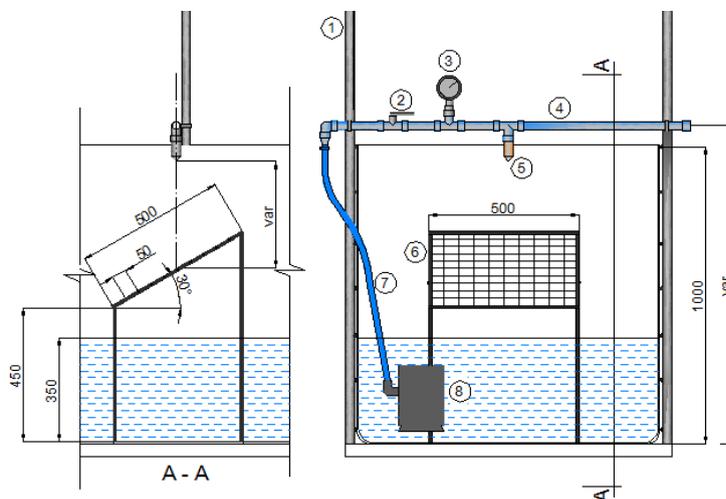
F - Força máxima alcançada em N (Newton);

D - Diâmetro do corpo de prova expresso em mm (milímetro).

5.3.4 Ensaio de chuva dirigida

O equipamento utilizado para o teste, seguindo o modelo proposto por Rezende et al. (2016), está ilustrado na Figura 1.

Figura 15. Equipamento para teste de exposição a chuvas dirigidas



Fonte: Rezende *et al.*, 2016

- 1 - Estrutura vertical de apoio em tubos de PVC rígido (Ø1") composta de dois apoios verticais fixados no tanque de teste;
- 2 - Válvula de passagem;
- 3 - Medidor de pressão (capacidade máxima 600 kPa);
- 4 - Tubulação horizontal para a água em tubo de PVC rígido (Ø1"), rosqueável, fixada nos apoios

- verticais por meio de braçadeiras que permitem variar a distância de aplicação do jato;
- 5 - Bico - Full Cone Spray-HH30-30100, (abertura de saída 6.3mm), fabricante Spraying Systems Co., posicionado centralmente em relação à face do corpo de prova a ser ensaiado;
- 6 - Plataforma de apoio para os corpos de prova em cantoneiras em aço inox (10 mm x 10 mm) e malha vazada (50 mm x 50 mm) para permitir o escoamento da água. Para evitar o deslocamento do corpo de prova devido a inclinação da mesa de apoio, uma peça de fixação regulável foi adicionada permitindo também variar a distância de aplicação sendo mantida a mesma pressão;
- 7 - Bomba submersa. O nível mínimo de água foi estabelecido em função do desempenho da bomba;
- 8 - Mangueira flexível (Ø1”).

Tendo em vista que o potencial erosivo da chuva é medido pela energia cinética, a metodologia do teste busca simular a energia cinética da chuva natural a qual, de acordo com a relação proposta por Foster et al. (1981), pode ser calculada pela equação 1:

$$E_c = (0.119 + 0.0873 \cdot \log I) \cdot 10^{-4} \quad (6)$$

Em que:

E_c = energia cinética, em $\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{mm}^{-1}$,

I = intensidade de chuva, em $\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$. Foi adotado $50 \text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$ como valor de intensidade máxima para chuva forte, de acordo com Silveira et al. (2015).

Para o cálculo da energia cinética obtida com o jato de água, foi utilizada a equação 2:

$$E_c = \frac{1}{2} (m \cdot v^2) \cdot 10^{-6} \quad (7)$$

Em que:

E_c = energia cinética (MJ),

m = massa (kg),

v = velocidade final das gotas ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$).

A velocidade final das gotas, desprezando-se as perdas pelo atrito com o ar, foi calculada pela equação 1:

$$v = \sqrt{v_0^2 + 2gS} \quad (8)$$

Em que:

v_0 = velocidade inicial ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$), dada pelo quociente da vazão ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) pela secção de saída do bico (m^2);

g = aceleração da gravidade ($m.s^{-2}$);

S = distância de pulverização (m).

Foram consideradas inicialmente as alturas: 0,30, 0,40, 0,50, 0,60 e 0,70 m, valendo salientar que a área de impacto, pelo fato do jato ser cônico, varia em função da altura.

Para determinação da vazão, foi considerado o valor de 9 (nove) ICD que correspondem, segundo a relação proposta por Henriques (1993) correspondem a $1305 \text{ litros.m}^{-2}.h^{-1}$, ou seja, $21,75 \text{ litros.m}^{-2}.min^{-1}$ tendo sido regulado o registro de passagem para a obtenção desta vazão. A pressão de saída medida foi de 1 (um) bar.

ENERGIA CINÉTICA

A Tabela 5 apresenta os resultados encontrados.

Tabela 5 :Variação da Energia cinética em função da altura de aplicação do jato

Altura (m)	V($m.s^{-1}$)	Energia Cinética ($MJ.m^{-2}$)	
		Teste	Chuva Natural
0,30	11,71	2,48E-5	
0,40	11,79	2,51E-5	
0,50	11,87	2,52E-5	
0,60	11,98	2,60E-5	2,67E-5
0,70	12,04	2,62E-5	
0,80	12,14	2,67E-5	

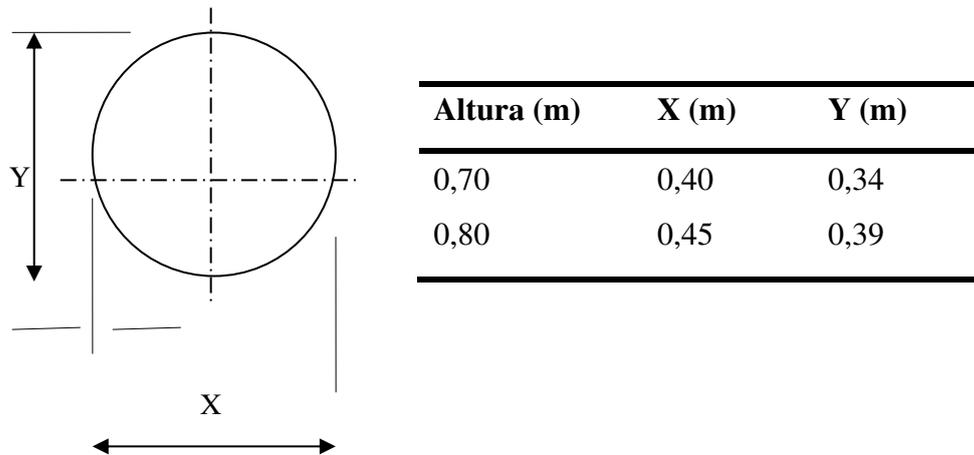
Observando-se os dados apresentados na Tabela 5 é de fácil conclusão que a altura mais apropriada é 0,80, valor igual ao correspondente de chuva natural. Entretanto, pelo fato do jato ser cônico, a área de impacto varia em função da altura devendo ser levado em conta a área do corpo de prova a ser ensaiado. Sendo a energia cinética calculada em função da unidade de área, a variação de área também influencia o tempo de duração do ensaio (Tabela 6). O tempo de ensaio foi calculado objetivando simular 50 anos de exposição, dividindo-se a precipitação relativa a área de impacto pela vazão ($21,75 \text{ litros.min}^{-1}$) e o resultado multiplicando-se pelo período de tempo que se deseja simular.

Tabela 6: Determinação do tempo de ensaio em função da precipitação e variação da energia cinética em função da área de impacto

Precipitação anual (mm)	Altura (m)	Área de impacto (m ²)	Energia (MJ)	Cinética	Precipitação/Área (mm)	Tempo de Ensaio (h)
			Teste	Chuva Natural		
600	0,30	0,02	12,99E-4	13,92E-4	11,52	0,5
	0,40	0,03	7,42E-4	7,84E-4	20,46	1
	0,50	0,05	4,81E-4	5,02E-4	31,98	1
	0,60	0,08	3,39E-4	3,48E-4	46,08	2
	0,70	0,11	2,52E-4	2,56E-4	62,70	2
	0,80	0,14	1,94E-4	1,94E-4	82,74	3
800	0,30	0,02	12,99E-4	13,92E-4	15,36	1
	0,40	0,03	7,42E-4	7,84E-4	27,28	1
	0,50	0,05	4,81E-4	5,02E-4	42,64	2
	0,60	0,08	3,39E-4	3,48E-4	61,44	2
	0,70	0,11	2,52E-4	2,56E-4	83,60	3
	0,80	0,14	1,94E-4	1,94E-4	110,32	4
1000	0,30	0,02	12,99E-4	13,92E-4	19,20	1
	0,40	0,03	7,42E-4	7,84E-4	34,10	1
	0,50	0,05	4,81E-4	5,02E-4	53,30	2
	0,60	0,08	3,39E-4	3,48E-4	76,80	3
	0,70	0,11	2,52E-4	2,56E-4	104,50	4
	0,80	0,14	1,94E-4	1,94E-4	137,90	5

Verifica-se, por meio dos dados apresentados na Tabela 6, que a altura mais indicada, em termos de simulação da energia cinética, é 0,80. Entretanto, o seu uso acarreta o acréscimo de 1 (uma) hora na duração do ensaio. A opção pela altura (e, por conseguinte, a área de impacto) mais adequada será então limitada pelas dimensões do corpo de prova a ser testado. Na Figura 16 estão descritas as áreas e dimensões para as alturas de 0,70 e 0,80, já que estas são as mais adequadas ao objetivo do teste, ou seja, simular a energia cinética de chuvas naturais.

Figura 16: Dimensões das áreas de impacto para as alturas de 0,70m e 0,80m



Sendo o objetivo do teste avaliar a erosão provocada pela incidência de chuvas dirigidas (chuvas conduzidas pelo vento), a metodologia proposta consiste em:

1. Após secagem em estufa até a constância de massa e determinação da massa seca, o(s) corpos de prova deve(m) ser submetido(s) ao ensaio pelo tempo determinado (ver tabela 6);
2. Concluída a exposição, a água superficial deve ser eliminada (utilizando para isto uma flanela úmida) e determinada a massa úmida;
3. O(s) corpo(s) de prova deve(m) retornar à estufa até a constância de massa, sendo então determinada a massa seca pós-teste;
4. A diferença entre a massa seca antes e após o teste (%) representará a perda de massa resultante do ensaio.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 AGREGADO MIÚDO

Para a execução dos blocos utilizou-se da areia natural do Rio Paraíba como agregado miúdo, Figura 17. Este agregado foi submetido aos ensaios de Massa Unitária de acordo com a NBR NM 45 (ABNT, 2006), de Massa Específica, como prescrito na ME 194 (DNER, 1998) e ao ensaio de definição da Composição Granulométrica, em concordância a NBR NM 248 (ABNT, 2003).

Figura 17: Amostra do agregado miúdo



Fonte: Propria, 2019

De acordo com a NBR 7211 (ABNT, 2009), a areia utilizada neste trabalho corresponde ao limite da distribuição granulométrico para o agregado miúdo, Quadro 1, por estar dentro dos padrões de classificação.

Quadro 1: Limites de distribuição da granulometria do agregado miúdo (areia)

Peneiras com abertura de malha (mm)	Porcentagem, em massa, retida acumulada				Agregado usado
	Limites Inferiores		Limites Superiores		
	Zona Utilizável	Zona Ótima	Zona Ótima	Zona Utilizável	% Acumulada
9,5	0	0	0	0	0
6,3	0	0	0	7	0
4,75	0	0	5	10	0,31
2,36	0	10	20	25	3,03
1,18	5	20	30	50	11,19
0,600	15	35	55	70	32,76
0,300	50	65	85	95	78,09
0,150	85	90	95	100	96,28

Fonte: Adaptade de NBR 7211 (ABNT, 2009).

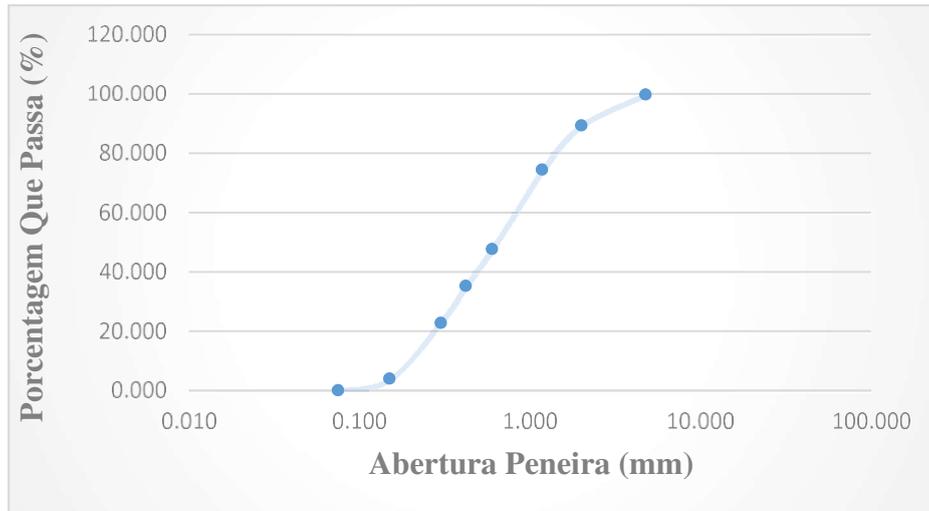
Os resultados obtidos nos ensaios de caracterização do agregado miúdo estão descritos a seguir na Tabela 7, e, a distribuição da composição granulométrica são apresentados na Figura 18, demonstradas a seguir.

Tabela 7: Valores definidos como características do agregado miúdo

Distribuição por Classe	Valor	Unidade
Massa Específica	2,57	g/cm ³
Massa Unitária	1,77	Kg/dm ³
Diâmetro Máximo	2,40	mm
Módulo de Finura	2,22	-

Fonte: Própria, 2019.

Figura 18: Distribuição granulométrica da areia



Fonte: Própria, 2019.

Como pode observar no Quadro 1, os valores obtidos da amostra estão dentro dos parâmetros exigidos pela norma NBR 7211 (ABNT, 2009). E através do gráfico da Figura 16, observa-se que a areia usada como agregado miúdo tem características uniformes que a classifica como uma areia fina.

6.2 AGREGADO GRAÚDO

O agregado graúdo utilizado foi a brita granítica tipo 0 (zero) também conhecida como cascalhinho, apresentado na Figura 19, onde foi submetida aos mesmos ensaios de caracterização do agregado miúdo, com correspondência metodológica explícita nas normas NBR NM 45 (ABNT, 2006), ME 194 (DNER, 1998), NBR NM 248 (ABNT, 2003). Os resultados das caracterizações do agregado estão expressos no Quadro 2.

Figura 19: Amostra do agregado Graúdo



Fonte: Própria, 2019.

Quadro 2: Limites da composição granulométrica do agregado graúdo

Peneiras com abertura de malha (mm)	Porcentagem, em massa, retida acumulada					% Acumulado
	Zona Granulométrica correspondente a menor (d) e a maior (D) dimensão do agregado (d/D)					
	4,75/12,5	9,5/25	19/31,5	25/50	37,5/75	
75	-	-	-	-	0 - 5	-
63	-	-	-	-	5 - 30	-
50	-	-	-	0 - 5	75 - 100	-
37,5	-	-	-	5 - 30	90 - 100	-
31,5	-	-	0 - 5	75 - 100	95 - 100	-
25	-	0 - 5	5 - 25	87 - 100	-	-
19	-	2 - 15	65 - 95	95 - 100	-	0
12,5	0 - 5	40 - 65	92 - 100	-	-	-
9,5	2 - 15	80 - 100	95 - 100	-	-	0,28
6,3	40 - 65	92 - 100	-	-	-	-
4,75	80 - 100	95 - 100	-	-	-	86,41
2,36	95 - 100	-	-	-	-	88,00

Fonte: Adaptado de NBR 7211 (ABNT, 2009).

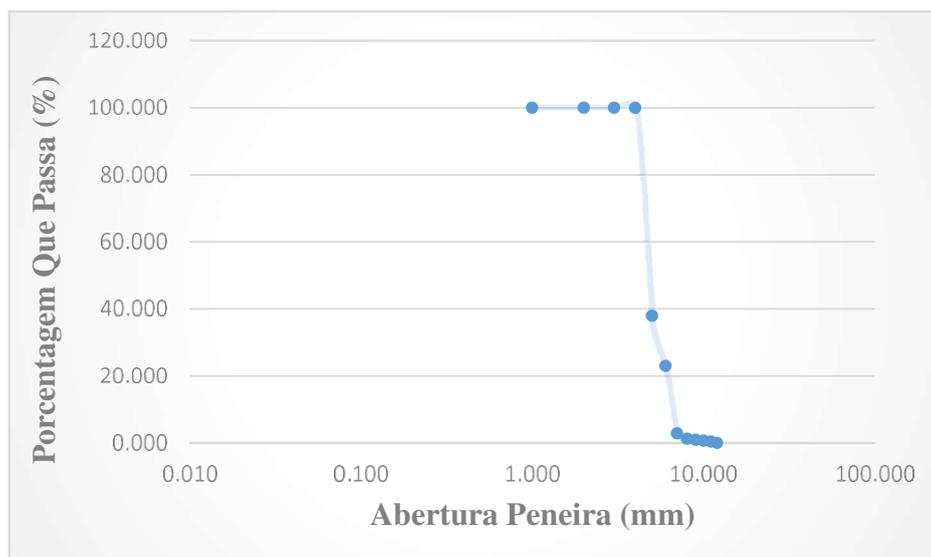
Os resultados obtidos nos ensaios de caracterização do agregado graúdo estão descritos a seguir na Tabela 8, e, a distribuição da composição granulométrica são apresentados na Figura 20, demonstradas a seguir.

Tabela 8: Valores definidos como características do agregado graúdo (brita granítica).

Distribuição por Classe	Valor	Unidade
Massa Específica	2,63	g/cm ³
Massa Unitária	1,62	Kg/dm ³
Diâmetro Máximo	9,5	mm
Módulo de Finura	5,75	-

Fonte: Própria, 2019.

Figura 20: Distribuição granulométrica da brita 0.



Fonte: Propria, 2019.

De acordo o Ministério de Minas e Energia (MME, 2009), a variação granulométrica do maior percentual da amostra, variando de 4,8 mm a 9,5 mm corresponde a brita 0 (zero) ou pedrisco. A especificação NBR 7211 (ABNT, 2009), fixa limites da composição granulométrica demonstrando uma faixa de percentual acumulado com relação a abertura da peneira e a maior dimensão do agregado, conforme foi mostrado no Quadro 02 , desta forma, a brita utilizada para a produção dos blocos corresponde aos padrões de identificação da brita tipo 0 (zero).

6.3 RESÍDUOS POLIMÉRICOS

Dentre as variáveis classificação dos polímeros plásticos, os resíduos utilizados para este trabalho, como mostra a Figura 21, correspondem as características do Polietileno de Baixa Densidade (PEBD), para parâmetro de reciclagem recebe o número 4 (quatro), onde são leves, flexíveis e transparente.

Figura 21: Resíduos Poliméricos



Fonte: Propria, 2019.

Para a caracterização dos resíduos poliméricos, realizou-se o ensaio de composição granulométrica seguindo os parâmetros metodológicos previstos na NBR NM 248 (ABNT, 2003), com procedimento experimental descrito anteriormente, de acordo com o Quadro 3.

Quadro 3: Limites de distribuição da granulometria do agregado miúdo (PET)

Peneiras com abertura de malha (mm)	Porcentagem, em massa, retida acumulada				Agregado usado
	Limites Inferiores		Limites Superiores		
	Zona Utilizável	Zona Ótima	Zona Ótima	Zona Utilizável	% Acumulada
9,5	0	0	0	0	0
6,3	0	0	0	7	0
4,75	0	0	5	10	0,12
2,36	0	10	20	25	94,91
1,18	5	20	30	50	100
0,600	15	35	55	70	100
0,300	50	65	85	95	100
0,150	85	90	95	100	100

Fonte: Adaptade de NBR 7211 (ABNT, 2009).

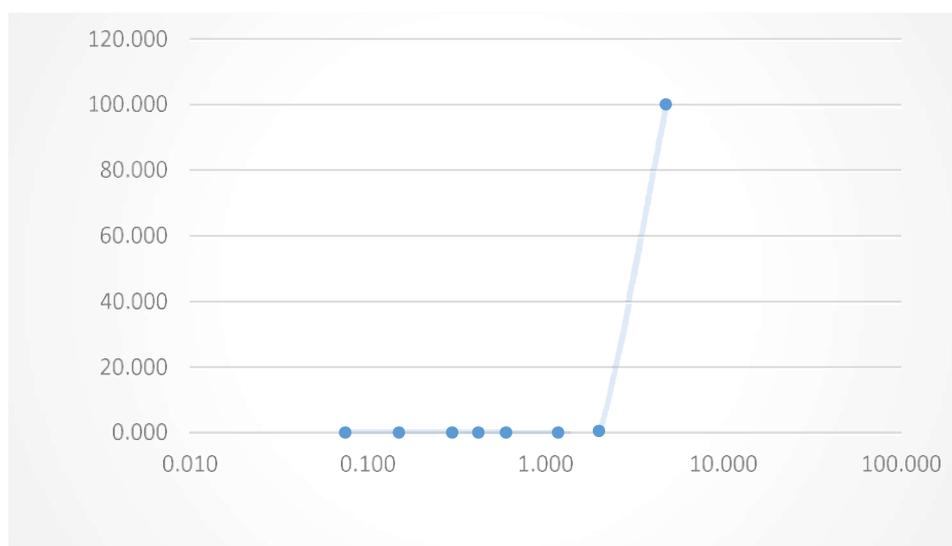
Os resultados obtidos nos ensaios de caracterização do agregado miúdo polimérico estão descritos a seguir na Tabela 9, e, a distribuição da composição granulométrica são apresentados na Figura 22, demonstradas a seguir.

Tabela 9: Valores definidos como características do agregado miúdo PET.

Distribuição por Classe	Valor	Unidade
Massa Específica	1,38	g/cm ³
Massa Unitária	0,80	Kg/dm ³
Diâmetro Máximo	4,8	mm
Módulo de Finura	4,95	-

Fonte: Própria, 2019.

Figura 22: Distribuição Granulométrica dos Resíduos Poliméricos



Fonte: Própria, 2019.

De acordo com a NBR 7211 (ABNT, 2009), os agregados miúdos são os grãos que passam na peneira de abertura de malha de 4,75 mm (quatro vírgula setenta e cinco milímetros), além de estarem dentro dos limites de distribuição granulométrica demonstrados anteriormente no Quadro 03. Desta forma, os resíduos poliméricos utilizados neste trabalho, estão classificados como agregado miúdo, justificando assim, a sua utilização nas substituições por percentual sobre o consumo de areia.

6.4 ÍNDICE DE ABSORÇÃO DE ÁGUA

Para a obtenção do índice de absorção, seguiu os passos citados no item 6.3.2. Os resultados médios obtidos neste ensaio, estão descritos na Tabela 10.

Tabela 10: Resultados médio do ensaio de absorção de água

TIPO DA PLACA	F A/C	% POLÍ.	ABSORÇÃO DE ÁGUA
M1	0,65	-	1,92%
M2	0,65	30%	7,66%
M3	0,65	20%	5,05%
M4	0,65	10%	2,61%
M5	0,50	30%	-
M6	0,50	20%	2,33%
M7	0,50	10%	2,19%

Fonte: Própria, 2019.

De acordo com os resultados obtidos demonstrados na Tabela 10 citado acima, os tipos de blocos que apresentaram um maior índice de absorção de água correspondem aos que tiveram em sua composição uma adição de 30% de resíduos poliméricos identificados nos tipos M2 com fator a/c igual à 0,65 e M3 com fator a/c de 0,50. O de referência M1 com fator a/c de 0,65 , que não recebeu nenhum quantitativo de resíduos poliméricos, obteve o menor índice de absorção. Para o M5 com fator a/c de 0,50 houve um fracasso na execução, pois na tentativa de produzir o corpo de prova com o fator a/c de 0,50 não obteve slump, demonstrando uma desagregação do material, como observado na Figura 23, conseqüentemente gerou copos de provas defeituosos como observado na Figura 24.

Figura 23: (a) Teste de slump sem sucesso; (b) Desmoldagem do slump;



Fonte: Própria, 2019.

Figura 24: corpos de prova M5 com defeito



Fonte: Própria, 2019.

6.3 RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO DO CONCRETO

Para a análise da qualidade do concreto nas diferentes composições, descritas na Tabela 03 citada, foi desenvolvido por meio da produção de cada composição, com o propósito de avaliar o desempenho através da moldagem de corpos de prova prismáticos, e a ruptura à compressão após a cura por submersão em tanque com água durante 07, 14 e 28 dias nas temperaturas medias de 51° C observado na Figura 20 e 25° C medido em laboratório. Os resultados médios obtidos neste ensaio estão descritos na Tabela 11 e 12 demonstrados a seguir.

Tabela 11: Resultados médio do ensaio de resistência a compressão dos corpos de prova prismáticos para temperatura média de 51° C

% de PET	F a/c	σ 7 dias	σ 14 dias	σ 28 dias
0	0,65	19,32 Mpa	21,60 Mpa	24,83 MPa
10%	0,65	9,03 Mpa	11,14MPa	12,13MPa
20%	0,65	7,48 Mpa	8,88 Mpa	10,44 Mpa
30%	0,65	6,35 MPa	6,49 Mpa	7,33 Mpa
0%	-	-	-	-
10%	0,50	9,87 Mpa	11,50 Mpa	19, 35MPa
20%	0,50	9,17 Mpa	10,44 Mpa	17, 10Mpa
30%	0,50	-	-	-

Fonte: Própria (2019).

Tabela 12: Resultados médio do ensaio de resistência a compressão dos corpos de prova para temperatura média de 25° C

% de PET	F a/c	σ 7 dias	σ 14 dias	σ 28 dias
0	0,65	21,02 Mpa	24,41 Mpa	26,70 MPa
10%	0,65	11,03 Mpa	14,10MPa	15,51MPa
20%	0,65	10,28 Mpa	12,15 Mpa	14,31 Mpa
30%	0,65	8,75 MPa	9,39 Mpa	11,17 Mpa
0%	-	-	-	-
10%	0,50	12,97 Mpa	15,46 Mpa	23, 32MPa
20%	0,50	13,09 Mpa	14,61 Mpa	20, 97Mpa
30%	0,50	-	-	-

Fonte: Própria (2019).

Observando que não foi realizado a moldagem dos corpos de prova de referência com fator a/c de 0,50 pois seria executado após todos as moldagens com agregado de PET, daí a brita que estava sendo utilizada nos experimentos acabou. Devido ao tempo não foi clasificado outro agregado graúdo para a executar moldagem dos corpos de referência com fator a/c de 0,50.

Fazendo uma análise comparativa entre as as Tabelas 9 e 10, verificou-se que os corpos de prova tiveram resultados de resistência a compressão (σ) aumentando com o tempo de cura e diminuindo com o acréscimo de resíduos poliméricos e uma pequena variação, para menos, na resistência com aumento da temperatura, resultando em valores inferiores à resistência característica estimada á compressão $\geq f_{pk}$ 35 MPa exigida pela norma NBR 9780.

6.4 RESISTÊNCIA AO ENSAIO DE CHUVA DIRIGIDA

Quanto ao nível de exposição à chuva dirigida, a análise foi adequada para a cidade de Campina Grande, PB, com base nos resultados de índice de chuva dirigida anual, se encontra em uma região classificada como protegida, segundo o critério de Chand e Bhargava (2002). A chuva dirigida deve ser feito tomando uma série de 50 anos. A Figura 25 e a Tabela 13 demonstram características de como foi realizado o ensaio.

Figura 25: Ensaio de chuva dirigida



Fonte: Própria, 2019.

Tabela 13: Resultados obtidos após ensaio de chuva dirigida

% de PET	F a/c	Perda de massa	σ	Temp. °C
0	0,65	0,05%	28,05 MPa	25
10%	0,65	0,49%	17,21MPa	25
20%	0,65	0,93%	15,63 Mpa	25
30%	0,65	1,53%	11,95 Mpa	25
0%	-	-	-	-
10%	0,50	0,28%	24, 12MPa	25
20%	0,50	0,39%	21, 53Mpa	25
30%	0,50	-	-	-

Fonte: Própria, 2019.

Na análise dos resultados, observou-se que para o ensaio de chuva dirigida, a perda de massa aumenta nos corpos de prova com maior percentual de polímero, ou seja, quanto maior a presença do PET na composição, maior a perda de massa no ensaio. Outro critério observado foi a resistência a compressão, tal propriedade continuou aumentando, pois os desgates sofridos pelos blocos foram insignificantes.

7 CONCLUSÃO

Em relação a classificação do material: os materiais apresentaram-se dentro dos parâmetros das normas, com exceção do PET que apresentou uma granulometria um pouco acima do recomendado, interferindo diretamente na absorção e na resistência.

Em relação à adição de polímero: a medida que vai aumentando o percentual de PET, a resistência à compressão vai diminuindo.

Para o traço feito sem a adição de resíduo de PET, a resistência atingida foi de 24,83 MPa para o fator a/c de 0,65 e temperatura de 51° C, e de 26,70 MPa para o fator a/c de 0,50 e temperatura de 25°C, concluindo que tanto percentual de polímero, o fator água/ cimento e a temperatura influenciam na resistência do concreto. Em significativo contraste com esse valor, a resistência do traço feito com 30% de resíduo de PET atingiu 7,33 Mpa valor bem abaixo requerido por norma.

Para o ensaio de chuva dirigida, observou-se que com a adição de polímero na composição do concreto, a resistência de durabilidade de chuva diminui, havendo uma perda de massa um pouco maior, porém o percentual de perda é muito pequeno, sendo considerado desprezível e não afetando a resistência.

Assim conclui-se que é viável a utilização de blocos de concreto para pavimentos intertravados com a adição de resíduo de PET com resistência de 15 Mpa no que diz respeito a blocos de concreto que serão utilizados em calçadas, ciclovias e praças onde tráfego será destinado apenas aos pedestres e ciclistas, sendo desnecessária uma resistência alta.

8 REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 9781- Peças de concreto para pavimentação-determinação da resistência à compressão – método de ensaio - 2013**

_____. NBR 5736/5737. **Cimento Portland pozolânico – especificação – 1991**

_____. NBR 7211 - **Agregado para concreto – especificação – 2005**

_____. NBR 7251. Agregado em estado solto – Determinação da massa unitária – 1982.

_____. NBR 9781 - **Peça de concreto para pavimentação – especificação – 1987**

_____, **DNER-ES 303/97**. Disponível em:

<http://www1.dnit.gov.br/arquivos_internet/ipr/ipr_new/normas/DNER-ES321-97.pdf>. Acesso

ANDRADE, H. I. **ELABORAÇÃO DO PLANO DE GESTÃO INTEGRADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS DO MUNICÍPIO DE UBERLÂNDIA - MG**. 2014. 366 f. Dissertação (Mestrado). Universidade de Ribeirão Preto. Disponível em: <<https://www.unaerp.br/documentos/1592-dissertacao-hebert-i-andrade-1-1/file>>. Acesso em: 10 abr. 2019.

CANELLAS, S.S. **RECICLAGEM DE PET, VISANDO A SUBSTITUIÇÃO DE AGREGADO MIÚDO EM ARGAMASSAS**. Rio de Janeiro. 2005. 78 f. Tese (Doutorado em engenharia metalúrgica e de materiais) .Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Disponível em: <<https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/colecao.php?strSecao=resultado&nrSeq=7374@1>>. Acesso em: 28 maio 2019.

CHAND, I.; BHARGAVA, P. K. Estimation of Driving Rain Index for India. **Building and Environment**, Índia. v. 37, n. 5, p. 549-554, maio 2002 .

CPRM / SGM/TM / MME - Levantamento da geodiversidade - Projeto atlas pluviométrico do Brasil - Isoietas anuais médias: Período 1977 a 2006. Acessado em: <http://www.cprm.gov.br/publique/Hidrologia/Mapas-e-Publicacoes/Atlas-Pluviometrico-do-Brasil-1351.htm>lem: 13 jun 2019.

FARIA, P. M. .B. **GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL – ESTUDO DE CASO NA CONSTRUÇÃO E MONTAGEM DE UMA LINHA DE TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**. Rio de Janeiro. 2011. 99 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Disponível em: <http://www.peamb.eng.uerj.br/trabalhosconclusao/2011/PriscilaMarquesBragaFaria_PEAMB2011.pdf>. Acesso em: 23 nov. 2019.

FOSTER, G. R. et al. Conversion of the universal soil loss equation to SI metric units. **Journal Of Soil And Water Conservation**, Usa, v. 36, n. 6, p.355-359, nov. 1981.

Henriques F.M.A. Quantification of wind driven rain on vertical surfaces. In: **International Conference of Durability of Building Materials and Components 6**, Anais: 607-616. Omiya, Japão, 1993.

MARQUES, J.S. **ESTUDO DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE LADRILHOS HIDRÁULICOS VISANDO À INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS. Londrina.** 2012. 119 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento). Universidade Estadual de Londrina. Disponível em:
<<http://www.uel.br/pos/enges/portal/pages/arquivos/dissertacao/81.pdf>>. Acesso em: 23 nov. 2019.

MODRO, N.et al. Avaliação de concreto de cimento Portland contendo resíduos de PET. **Matéria. Rio de Janeiro.** v. 14, n. 1, p.725-736, 7 abr. 2009. Disponível em : <http://dx.doi.org/10.1590/s1517-70762009000100007>.

PLASTIC .E. Pavimentação: determinação da resistência á compressão ,método de ensaio ,1987. **Plastics Europe** .2017. Disponível em:https://www.plasticseurope.org/application/files/5715/1717/4180/Plastics_the_facts_2017_FINAL_for_website_one_page.pdf >. Pág. – 16. Acesso em 19 de maio de 2019.

DISTRITO FEDERAL. Lei N 96 de 06 de junho de 2017. Assegura que as práticas desportivas que utilizem animais não são consideradas cruéis, nas condições que especifica. **Diário Oficial do Distrito Federal.** Brasília, 6,junho,2017.

RAMALHO, M. F. DE J. L. A fragilidade ambiental nordeste Brasileiro: o clima semiárido e as imprevisões das garnde estiagens. **Sociedade e Território**, v. 25, n. 2, p. 104-115, 29 jul. 2013.
Rezende M.L.S.; Camões A.; Eires R.; Jesus C. Desenvolvimento e avaliação de um simulador de chuvas para teste acelerado de degradação. **Revista de Engenharia Civil**, v.53, n.2, p. 17-28, 2016.

SANTAELLA, S.T. et al. Resíduos sólidos: Disposição Final e Tratamento de Resíduos. In: SANTAELLA, S. T. et al. Resíduos sólidos e a atual política ambiental Brasileira. Fortaleza: Labomar, 2014. Disponível em: <<http://www.repositoriobib.ufc.br/000011/00001121.pdf>>. Acesso em: 23 nov. 2019.

Silveira H.; Alves F.R.P.; Baldo M.C. Análise da intensidade da pluviosidade ocorrida nos anos de 1988-1999-2009 em Maringá – PR. **Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v.11 n.6,p. 282-295, 2015.