

**FACULDADE INTEGRADAS DE ARACRUZ
ENGENHARIA CIVIL**

**EURICO CABIDELE JUNIOR
RIVÂNIA DE ARAÚJO CÁO**

**AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA DO CONCRETO COM ADIÇÃO DE
DIFERENTES TIPOS DE ESPUMAS DE PU**

**ARACRUZ
2018**

**EURICO CABIDELE JUNIOR
RIVÂNIA DE ARAÚJO CÃO**

**AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA DO CONCRETO COM ADIÇÃO DE
DIFERENTES TIPOS DE ESPUMAS DE PU**

Projeto apresentado ao Colegiado do Curso de Graduação em Engenharia de Civil das Faculdades Integradas de Aracruz – FAACZ, como requisito de avaliação oficial.

Orientador: Evandro José Pinto de Abreu

ARACRUZ

2018

LISTA DE ILUSTRAÇÃO

Figura 5.1 – Espumas flexíveis de PU, oriundas de poltronas de veículos.....	18
Figura 5.2 – Espumas rígidas de PU, oriundas de poltronas de veículos.	18
Figura 5.3 – Espumas rígidas e flexíveis de PU sendo trituradas.....	19
Figura 5.4 – Espumas flexíveis de PU trituradas e pesadas em sacos de 500g.	20
Figura 5.5 – Espumas rígidas de PU trituradas e pesadas em sacos de 500g.	20
Figura 5.6 e 5.7 – Betoneira em movimento e cilindros metálicos preenchidos pelo concreto a ser testado.....	25
Figura 5.8 – Corpos de provas após a deformação em processo de cura úmida.....	25
Figura 5.9 – Cone metálico em cima da base, com funil.....	26
Figura 6.1 e 6.2 – Slump-teste das amostras de concreto com 0% e 25% de adição de espumas de PU, respectivamente.	28
Figura 6.3 e 6.4 – Slump-teste das amostras de concreto com 50% e 75% de adição de espumas de PU, respectivamente.....	28
Figura 6.5 e 6.6 – Amostras 1 e 2 respectivamente. Corpos de provas do concreto de traço convencional com 7 dias de cura, sendo rompido.....	30
Figura 6.7 e 6.8 – Amostras 1 e 2 respectivamente. Corpos de provas do concreto de traço 25% com 7 dias de cura, sendo rompido.....	31
Figura 6.9 e 6.10 – Amostras 1 e 2 respectivamente. Corpos de provas do concreto de traço 50% com 7 dias de cura, sendo rompido.....	31
Figura 6.11 e 6.12 – Amostras 1 e 2 respectivamente. Corpos de provas do concreto de traço 75% com 7 dias de cura, sendo rompido.....	32
Figura 6.13 e 6.14 – Amostras 1 e 2 respectivamente. Corpos de provas do concreto de traço convencional com 28 dias de cura, sendo rompido.....	32
Figura 6.15 e 6.16 – Amostras 1 e 2 respectivamente. Corpos de provas do concreto de traço 25% com 28 dias de cura, sendo rompido.....	33
Figura 6.17 e 6.18 – Amostras 1 e 2 respectivamente. Corpos de provas do concreto de traço 50% com 28 dias de cura, sendo rompido.....	33
Figura 6.19 e 6.20 – Amostras 1 e 2 respectivamente. Corpos de provas do concreto de traço 75% com 28 dias de cura, sendo rompido.....	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 – Valores mínimos de resistência a compressão em função da massa específica aparente para concreto leve estrutural.....	14
Tabela 5.1 – Consumo de água aproximado (litros/m ³ de concreto)	22
Tabela 5.2 – Volume compactado seco de agregado graúdo (m ³ de brita/m ³ de concreto)	22
Tabela 5.3 – Resumo do consumo de material por m ³ de concreto.....	23
Tabela 5.4 – Consumo de material para corpos de prova.....	23
Tabela 5.5 – Consumo de material para corpos de prova de 75% de PU.....	24
Tabela 6.1 – Determinação de consistência pelo abatimento do tronco com slump-teste.....	29
Tabela 6.2 – Adição de água/cimento feito no traço de concreto no momento do preparo.....	29
Tabela 6.3 – Resistência à compressão ensaio aos 7 dias.....	34
Tabela 6.4 – Resistência à compressão ensaio aos 28 dias.....	35

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABCP	–	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT	–	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRIPUR	–	Associação Brasileira da Indústria do Poliuretano
a/c	–	Fator água cimento
ANEPAC	–	Associação Nacional das Entidades de Produtos de Agregados para Construção Civil.
DNPM	–	Departamento Nacional de Produção Mineral
F _{ck}	–	Resistência média do concreto
F _{ck}	–	Resistência característica do concreto
PU	–	Poliuretano
PURCOM	–	Plataforma de Soluções de Poliuretano
ACI	–	American Concrete Institute
CPIII 40	–	Cimento Portland de alto-forno
NBR	–	Norma Brasileira
NM	–	Norma Mercosul

LISTA DE SÍMBOLOS

mm	–	milímetro
cm	–	centímetro
m	–	metro
m ²	–	metro quadrado
m ³	–	metro cúbico
m ³ /t	–	metro cúbico por tonelada
L	–	litro
mL	–	mililitro
g	–	grama
g/cm ³	–	grama por metro cúbico
kg	–	quilograma
t	–	tonelada
tf	–	tonelada força
MPa	–	megapascal
GPa	–	gigapascal

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	9
2 JUSTIFICATIVA.....	10
3 OBJETIVO.....	11
3.1 OBJETIVO GERAL.....	11
3.2 OBJETIVO ESPECIFICO.....	11
4 REVISÃO BIBLIOGRAFICA.....	11
4.1 CONCRETO.....	12
4.2 CONCRETO LEVE.....	13
4.3 AGREGADO.....	14
4.4 ESPUMAS DE POLIURETANO (PU)	16
5 METODOLOGIA.....	17
5.1 IDENTIFICAÇÃO DOS MATERIAS ADOTADOS.....	17
5.2 CARACTERIZAÇÃO DO CONCRETO.....	20
5.3 DOSAGEM CONVECÇÃO DO CONCRETO.....	21
5.3.1 Determinação do traço.....	22
5.3.1.1 Cálculos.....	22
5.3.2 Convecção dos corpos de prova.....	25
5.3.3 Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone.....	26
5.3.4 Ensaio de resistência à compressão axial simples.....	28
6 APRESENTAÇÃO E ANÁLISES DOS RESULTADOS.....	28
6.1 DETERMINAÇÃO DA CONSISTENCIA PELO ABATIMENTO DO TRONCO CONE.....	29
6.2 DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO.....	30
7 CONCLUSÃO.....	37
8 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFIO.....	38

RESUMO

Com o decorrer dos anos, a geração de resíduos tem aumentado consideravelmente, e o setor industrial e ambiental, vem provendo pesquisas para encontrar meios e melhores possibilidades de destinação desses resíduos. Sendo assim, tem-se por objetivo desta pesquisa o estudo do reaproveitamento das espumas de poliuretano, tanto rígidas como flexíveis, provenientes de lixões e ferros-velhos, na confecção de concreto. O uso das espumas de poliuretano tem como vantagem a possibilidade de obtenção de concreto mais leve, que geram alívio a estrutura, e a redução do consumo de areia, que favorece o meio ambiente. A avaliação da resistência foi desenvolvida em etapas, iniciando pela seleção e caracterização da matéria prima utilizada, em seguida a de cálculos de quantitativo e conformação dos corpos de prova e logo após a caracterização do comportamento mecânico. Os resultados obtidos foram representados através de gráficos e tabelas, contendo a variação da resistência mecânica, em função do teor de espumas de poliuretano utilizadas em cada amostra. A experiência proposta apresentou resultados significativos, como também algumas dificuldades, gerando assim, questões a serem analisadas em possíveis novas pesquisas.

ABSTRACT

Currently, the generation of waste has increased considerably, and the industrial and environmental sector has been providing research to find means and better possibilities of disposal of this waste. Therefore, the objective of this research is to study the reuse of polyurethane foams, both rigid and flexible, from dumps and old irons, in the confection of concrete. The use of polyurethane foams has the advantage of being able to obtain lighter concrete, which gives relief to the structure, and reducing the consumption of sand, which favors the environment. The resistance evaluation was carried out in stages, starting with the selection and characterization of the raw material used, followed by quantitative calculations and conformation of the test specimens and soon after the characterization of the mechanical behavior. The results obtained were represented by graphs and tables, containing the variation of the mechanical resistance, as a function of the content of polyurethane foams used in each sample. The proposed experiment presented significant results, as well as some difficulties, thus generating issues to be analyzed in possible new research.

Palavras-chaves: Poliuretano. Concreto leve. Resistência á compressão.

1 INTRODUÇÃO

Ao analisar ao longo da história do mundo, logo se percebe como tudo tem avançado em uma velocidade incrível, o ser humano tem obtido várias conquistas ao longo dos anos.

O principal fator que tem impulsionado essas conquistas é o crescimento populacional, em meados do século XX até o século atual a população mundial, saltou de 2,5 bilhões de pessoas para 6,7 bilhões, estimativas realizadas pela ONU (Organizações das Nações Unidas), diz que o número de habitantes no planeta Terra até 2050 poderá atingir os incríveis 9,2 bilhões de pessoas. (ORGANIZAÇÕES DAS NAÇÕES UNIDAS - ONU, 2014)

Com todo esse avanço populacional a humanidade acaba por enfrentar um desafio: como manter o planeta Terra apto para todo esse crescimento estimado, visto que, com o avanço populacional a degradação e a poluição também crescem. Essa realidade tem obrigado a humanidade a desenvolver novas tecnologias e políticas voltadas para a preservação ambiental.

Com isso o desenvolvimento por si só tem sido substituído pelo desenvolvimento sustentável que é definido pela Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (Brasil, 2001, p.38) como sendo o “desenvolvimento que satisfaz as necessidades presentes sem comprometer a capacidade das gerações futuras de suprir suas próprias necessidades”.

Diante disso, fica evidente a importância da reciclagem na vida humana, considerando que todo ser humano é um gerador de resíduos.

Muito se tem investido em estudos voltados para a reutilização de diversos produtos como, plásticos, metais, vidros e produtos orgânicos. Isso tem levado as empresas a aliar em suas linhas de produção, conceitos de sustentabilidade para seus determinados produtos e serviços.

Dentre esses diversos resíduos gerados, há aqueles que causam alto risco de degradação ambiental por conter em seus componentes resíduos tóxicos e possuírem grande tempo de decomposição natural, entre eles encontra-se os diferentes tipos das espumas de poliuretano (PU).

Os materiais de poliuretano são considerados uns dos principais polímeros utilizados nas últimas décadas, pois contém versatilidade em sua aplicação,

podendo ser fabricados em várias densidades e por abranger diversas possibilidades na obtenção de materiais com propriedades físicas e químicas diferentes.

As diferentes espumas de PU estão presentes no nosso dia a dia, como em sofás, colchões, esponjas, pranchas de surf, travesseiros, em portas das geladeiras como isolante térmico e entre outras, sendo assim de grande utilidade para sociedade.

Seu descarte após consumo de maneira geral, é feito em lixões urbanos em grandes quantidades, podendo também ser encontrado, como exemplo, em encostas de rios e terrenos baldios, além de geladeiras destinadas a ferro-velhos, que após a retirada da carcaça não encontra destinação para a espuma de PU existente.

Com isso, é possível notar que a geração de resíduos de PU tem aumentado significativamente a cada dia, tornando-se um grande problema ambiental a ser estudado e resolvido.

Segundo a Purcom, empresa química voltada para soluções de PU, estima-se que apenas 1% do consumo global de PU está sendo utilizado em processos de reciclagem no final da sua vida útil. (Plataforma de Soluções de Poliuretano – PURCOM – 2017)

O que torna fundamental os estudos voltados para área de destinação e reutilização desses resíduos, com o intuito de diminuir as possíveis consequências geradas ao meio ambiente, resultando também no aprimoramento de novas tecnologias.

Justificando assim, o presente estudo que tem como objetivo viabilizar a destinação e reutilização dos diferentes tipos de espumas de PU, por meio da utilização empregada na construção civil, para confecção de concreto, auxiliando na preservação do meio ambiente e trazendo uma nova forma de reintroduzir esse material no mercado, com vantagens sociais, ambientais e econômicas.

2 JUSTIFICATIVA

As espumas de PU são encontradas de várias formas, densidade e em grande quantidade no nosso dia a dia, o que as tornam um dos principais resíduos

gerados em quantidades significativas, segundo a ABRIPUR (Associação Brasileira da Indústria do Poliuretano, 2016).

As justificativas que baseiam esse estudo são:

Apontar uma alternativa de destinação adequada para os descartes dos diferentes tipos de espumas de PU existentes no nosso dia-dia.

Introduzir os diferentes tipos de espumas de PU na confecção do concreto nas obras de construção civil, com a finalidade de contribuir para novas tecnologias de reciclagem para esse tipo de resíduo.

Redução no consumo da areia para a confecção do concreto, buscando assim reduzir a degradação ambiental devido a sua extração no meio ambiente. Estimulando um conceito de sustentabilidade na indústria da construção civil.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a resistência do concreto, na substituição de forma percentual da areia por diferentes tipos de espumas de PU, descartadas diariamente pela população.

3.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

Identificar as características das diferentes espumas de PU, a serem adicionadas no concreto como substituição a areia.

Calcular os traços do concreto a ser confeccionado, analisando o melhor quantitativo a ser utilizado de PU.

Avaliar a consistência do concreto usando a normativa ABNT NBR NM 67 (1995).

Confeccionar os corpos de provas com a adição de diferentes tipos de espumas de PU, substituindo percentualmente a areia, conforme traço calculado.

Avaliar o desempenho mecânico do concreto usando a normativa ABNT NBR 5739 (2007), visando a possível aplicação em construção e melhoria do

desempenho desse produto em aplicações especiais, podendo ser ou não utilizado como concreto leve.

4 REVISÃO BIBLIOGRAFICA

4.1 CONCRETO

O concreto é um material composto, tendo em sua composição areia, brita, cimento e água, comumente utilizado no dia a dia nas obras de construção civil, formando a maioria das estruturas.

Segundo a *Federación Iberoamericana de Homigón Presmesclado* (FIHP), estima-se que 11 bilhões de toneladas de concreto são consumidas anualmente, sendo um consumo médio de 1,9 toneladas de concreto por habitante, menor apenas que o consumo da água. No Brasil, o concreto que sai de centrais dosadoras gira em torno de 30 milhões de metros cúbico. (IBRACON, 2009)

Um dos principais motivos da sua larga utilização nas obras, se dá por ser um material de baixo custo e facilmente encontrado, além de ser um material que possui resistência a deterioração, causada por intempéries. (METHA; MONTEIRO, 1994)

Conforme o IBRACON, o concreto pode ser considerado uma pedra artificial que se molda a inventividade do homem, tendo resistências similares a de rochas naturais, além de possui duas propriedades que o destaca como material construtivo, sendo uma delas, a resistência à água, que diferente do aço e da madeira, por não possuir deterioração quando exposto a mesma, tornando possível sua utilização em estruturas de controle, armazenamento e transporte de água; e a segunda propriedade é a sua plasticidade, que possibilita obter formas construtivas inusitadas, como pode ser vistas em obras arquitetônicas de Niemayer.

Segundo Metha e Monteiro (1994), o concreto é um material composto, que consiste essencialmente de um meio contínuo aglomerante – Cimento Portland –, dentro do qual estão mergulhados fragmentos de agregados e partículas, sua qualidade irá depender das proporções e qualidades dos materiais utilizados que o compõem.

O Cimento Portland, é um pó fino que possui propriedades aglomerantes, aglutinantes ou ligantes, que endurece sob a ação da água, sendo composto por clínquer e adições, as quais definirão o tipo do cimento (ABCP, 2002). Suas propriedades estão relacionadas diretamente à qualidade do concreto a ser composto.

O concreto usado como material estrutural é chamado de concreto estrutural e pode ser o concreto simples, sem armaduras; ou concreto armado, quando a armadura não é pré-tracionada ou protendida; ou concreto protendido quando a armadura é ativa ou protendida (COUTO, 2013).

O concreto armado é a junção do concreto simples com barras de aço, envolvidas pelo mesmo, que com a perfeita adesão entre os dois componentes, resistem em conjunto aos esforços que lhe forem submetidos. (SOUZA JÚNIOR, 2003).

O concreto protendido é o concreto em que nele é introduzido pré-tensões nos cabos de aço a ele adicionado, tensões essas de tal grandeza e distribuição que as tensões de tração resultantes do carregamento são neutralizadas a um nível e grau desejado (METHA E MONTEIRO, 1994).

A durabilidade e o tempo de vida útil de uma estrutura de concreto irão depender de alguns fatores que deverão ser identificados em fase do projeto, Bauer (2009) relaciona as principais causas de deterioração de estruturas de concreto com os erros de projeto estrutural, sendo: falta de detalhamento ou detalhes mal especificados, cargas ou tensões não levadas em consideração no cálculo estrutural, variações bruscas de seção em elementos estruturais, falta ou projeto deficiente de drenagem, efeitos de fluência não consideradas do concreto.

4.2 CONCRETO LEVE

O concreto com agregados leves, ou concreto leve estrutural, se apresenta como um material de construção consagrado em todo o mundo, com aplicações em diversas áreas da construção civil, como edificações pré-fabricadas, pontes e plataformas marítimas (ROSSIGNOLO, 2009).

O concreto leve normalmente é obtido, a partir da introdução de ar ou através da substituição de agregados naturais por agregados mais leves, em sua

composição. Podendo conter somente agregados leves, ou por diversas razões, uma combinação de agregados leves e normais (METHA E MONTEIRO,1994).

Conforme Metha e Monteiro (1994), o concreto leve possui o seu peso específico aproximadamente dois terço do peso específico do concreto normal, além de afirmar ser de grande importância a especificação da resistência à compressão mínima de 28 dias para assegurar suas qualidades.

Segundo o Guia de Concreto Estrutural feito com Agregados Leve do ACI 213R-87, tem-se por concreto estrutural leve, concretos que apresentam a resistência acima de 17MPa e peso específico não excedendo a 1850 kg/m³ aos 28 dias. Já conforme a norma brasileira, ABNT NBR NM35:1995 os valores mínimos de resistência a compressão em função da massa específica aparente deve ser:

TABELA 4.1 – VALORES MÍNIMOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO EM FUNÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA APARENTE PARA CONCRETO LEVE ESTRUTURAL

<i>Resistência à compressão aos 28 dias (MPa) – Valores mínimos</i>	<i>Massa específica aparente (kg/m³) – Valores mínimos</i>
28	1840
21	1760
17	1680

Fonte: ABNT NBR NM35:1995

A ampla utilização desse material é particularmente promovida pela diminuição da massa específica do concreto, promovendo, a redução de esforços da estrutura das edificações, a economia com fôrmas e cimbramento, bem como a diminuição dos custos com transporte e montagem de construções pré-fabricadas. (ROSSIGNOLO, 2009)

Além da redução da massa específica, a substituição dos agregados convencionais por agregados leves pode ocasionar alterações significativas em outras importantes propriedades do concreto, com destaque para a trabalhabilidade, resistência mecânica, módulo de deformação, durabilidade, estabilidade dimensional, condutividade térmica, resistência à altas temperaturas e espessura da zona da transição entre o agregado e a pasta de cimento, sendo de grande importância o conhecimento dessas modificações para sua correta aplicabilidade (ROSSIGNOLO, 2009).

4.3 AGREGADOS

Segundo o DNPM (Departamento Nacional de Produção Mineral), os agregados podem ser naturais ou artificiais, os naturais são os que encontramos de forma particulada na natureza, como a areia e o pedregulho, já os artificiais são aqueles produzidos por algum processo industrial, como pedras britadas, areias, artificiais, escórias de fornos e entre outros.

Além da classificação de artificiais ou naturais, segundo a NBR 7211 (ABNT, 2005) os agregados podem ser definidos como miúdo ou graúdo. Podendo também ser classificados conforme a densidade do material que constitui as partículas, em leves, médios e pesados. (BAUER, 1995).

Os agregados são utilizados em larga escala anualmente, conforme relatórios da ANEPAC, em 2016 o setor de construção apresentou uma demanda da ordem de 493 milhões de toneladas de brita e areia, estima que em 2019 chegará a 543 milhões de toneladas.

Segundo Bauer (2000), os agregados constituem um componente importante no concreto, contribuindo cerca de 80% do peso e 20% do custo do concreto estrutural sem aditivos.

Pesquisas apontam que a extração da areia gera degradação ambiental, como o desequilíbrio das margens e leitos dos cursos d'água, assoreamento das redes de drenagem, desbarrancamento das encostas, dentre outros impactos negativos que podem levar a inutilização temporária de grandes áreas para qualquer outro uso. (CASTRO, 1992)

Alguns produtos têm sido utilizados para fazer a substituição parcial ou integral dos agregados, com a ideia de aprimoramento de tecnologia e/ou conservação ambiental. Esses produtos vêm se destacando em pesquisas e até mesmo na utilização em obras especiais, entre eles encontra-se os reciclados de entulho de demolição, rejeitos de produtos siderúrgicos, os resíduos industriais de plásticos para a fabricação de pré-fabricados leves (concreto leve), resíduos de pneus triturados, dentre outros (DNPM, 2010).

Além dos agregados convencionais, existem os denominados, agregados leves, que são aqueles que possuem massa unitária menor que 1120kg/m^3 , devida a microestrutura celular ou por ser altamente poroso (METHA E MONTEIRO, 1994).

Esses agregados, podem ser classificados, em naturais, obtidos por meio da extração em jazidas e classificados quanto a sua granulometria, tendo pouca aplicação em concretos estruturais em função da variação das suas propriedades e disponibilidades; e os artificiais, obtidos em processos industriais e classificados com base na matéria prima e processo de fabricação (MAYCA, 2008).

4.4 ESPUMAS DE POLIURETANO (PU)

O poliuretano, conhecido também como PU, foi produzido industrialmente a partir de ligações uretanas por Otto Bayer, em 1937 e patenteado pela atual companhia Bayer AG de Leverkusen, e tem sido considerado um dos principais polímeros, ocupando a colocação entre os dez plásticos utilizados mais vendidos no mundo, devida a sua imensa versatilidade em se obter materiais de propriedades físicas e químicas diferentes (JORNAL DOS PLÁSTICOS, 1998).

As espumas de PU, podem ser classificadas como rígidas, semirrígidas e flexíveis, sendo as rígidas usadas em isolamento térmico, em geladeiras, “freezers”, e caminhões frigoríficos, dentre outros; e as flexíveis, em colchões, estofados, dentre outros (ABRIPUR, 2018).

As espumas flexíveis, podem ser encontradas com diversas densidades, que se difere devida a sua forma de fabricação e agentes de expansão auxiliares adicionados. As rígidas possuem propriedades isolantes, diferentes das flexíveis, que são adquiridas devida a adição de reagentes em sua fabricação que reduz sua condutividade térmica (VILLAR, 1998).

No contexto propriedades, as espumas podem conter resistência ao fogo, propriedades acústicas, por absorverem a energia sonora, e propriedades mecânicas de que irá depender tanto da geometria macroscópica das células quanto da morfologia microscópica de espuma (VILLAR, 1998).

Na fabricação das espumas de PU, são utilizados isocianatos, polióis e demais aditivos, além de agentes de expansão celular, sendo a água um dos mais utilizados, esse agente em contato com demais, ocasiona a reação de liberação de gases, como exemplo o gás carbono, gerando assim a espuma (VILLAR, 1998).

A resolução 267 do CONAMA (CONAMA, 2000), baseada no protocolo de Montreal, proibiu a utilização de substância que destroem a camada de ozônio, no

entanto, refrigeradores e congeladores que foram produzidos antes de 1998 utilizavam espuma rígida de poliuretano com CFC (clorofluorcarboneto) e ainda são encontrados no mercado, mesmo após a sua proibição no Brasil.

Desde então, o PU produzido não utiliza CFC's, e sim HCFC's e HCF's, clorofluorcarbonos hidrogenados, sendo estes compostos menos poluentes e menos destruidores da camada de ozônio (ORGANIZAÇÃO PARA A COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÓMICO – OECD, 2001).

Resíduos de espumas de poliuretano rígidas são classificados pela NBR 10.004 (ABNT, 2009) como Classe I, considerados perigosos e têm tempo de decomposição elevadíssimo, sendo tóxicos, destruindo a camada de ozônio e provocando o aquecimento global (LIMA, 2007).

O crescimento populacional e conseqüentemente o crescimento da utilização do PU, leva a humanidade a buscar novas formas de reutilizar o PU já consumido nos variados produtos do nosso dia-dia.

Com ideia de substituição de agregados convencionais por agregados leves, visando à preservação ambiental e o avanço tecnológico de materiais para a construção civil, um dos agregados a serem estudados são as espumas de PU. Estudos já realizados com espumas rígida de PU, usadas na substituição do agregado miúdo (areia) apresentaram resultados desejáveis (MARIANO, 2009).

5 METODOLOGIA

O método de pesquisa utilizado para o desenvolvimento desse trabalho, que visa avaliar o desempenho da aplicação de diferentes tipos de espumas de PU para confecção de concreto, teve como ponto principal a determinação do traço guia, no qual obteve a dosagem necessária dos materiais a serem utilizados na elaboração do concreto e na substituição da areia pelas diferentes espumas de PU.

5.1 IDENTIFICAÇÃO DOS MATERIAIS ADOTADOS

- Aglomerante: Cimento Portland, utilizou-se o CPIII 40, por ser o mais encontrado no comércio da região.

- Agregado graúdo: Os agregados graúdos são partículas com diâmetro superior a 4,8mm, segundo a Norma da NBR 7215, para esse estudo foi utilizado brita 1, que possui diâmetro máximo de 19mm, fornecida e já classificada pela faculdade.
- Agregado miúdo: Os agregados miúdos são agregados com diâmetro inferior a 4,8mm, para a preparação do concreto foi utilizada areia natural média lavada, fornecida e já classificada pela faculdade.
As espumas rígidas e flexíveis de PU recicladas utilizadas, foram adquiridas em ferro-velhos oriundas de carcaças de geladeiras abandonadas, de micro empresas que trabalham com estofados sendo elas oriundas de várias fontes, como poltronas de automóveis, sofás dentre outros, conforme as figuras 5.1 e 5.2. As espumas foram cortadas e trituradas num diâmetro semelhante a areia fina, e depois peneirada para confirmar a classificação granulométrica, conforme a figura 5.3.
- Água de amassamento: Água potável retirada da rede de abastecimento da cidade, gerenciada pelo Serviço Autônomo de Água e Esgoto – SAAE.



Fontes: Autores

Figura 5.1 – Espumas flexíveis de PU, oriundas de poltronas de veículos.



Fontes: Autores

Figura 5.2 – Espumas rígidas de PU, oriundas de carcaças de portas de geladeiras.



Fontes: Autores

Figura 5.3 – Espumas rígidas e flexíveis de PU sendo trituradas.

5.2 CARACTERIZAÇÃO DO CONCRETO:

O método proposto seguiu os seguintes procedimentos de desenvolvimento, visando à produção de um concreto de qualidade, de custo aceitável, além de ecologicamente correto:

- I. Seguindo as normas da ABNT, foi calculado um traço convencional, e três traços experimentais, com a adição de 25%, 50% e 75% de PU, para os concretos a serem confeccionados, determinando assim a quantidades de areia, brita, cimento, água e espumas a serem utilizadas;
- II. Foram moldados os copos de prova para ensaio de compressão do concreto com cilindros com diâmetro de 10 cm por 20 cm de comprimento. Primeiro foram confeccionados os convencionais e depois os com substituição de areia pelas espumas de PU, seguindo a ordem de crescimento de adição, 25%, 50% e 75%.
- III. Os corpos de provas confeccionados foram pesados e em sequencia avaliada a resistência de compressão. Os valores obtidos nos ensaios realizados foram comparados da seguinte forma: os resultados dos com traço convencional com os com

substituição, verificando assim, a viabilidade da substituição proposta.



Fontes: Autores

Figura 5.4 – Espumas flexíveis de PU trituradas e pesadas em sacos de 500g.



Fontes: Autores

Figura 5.5 – Espumas rígidas de PU trituradas e pesadas em sacos de 500g.

5.3 DOSAGEM E CONFECÇÃO DO CONCRETO

A dosagem do concreto implica determinar as proporções em massa dos componentes que o irão compor (agregados miúdo e graúdo, cimento, água e/ou aditivo), é feita baseada nas funções das propriedades desejadas para o concreto e sua aplicação. O método base utilizado para dosagem foi o da ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland).

O concreto foi preparado com os agregados na condição seca à temperatura ambiente. Para cada traço foram determinadas quantidades de materiais para 1m³ e ajustados conforme o volume do concreto utilizado que foi o suficiente para confeccionar 16 corpos de provas de 10 cm x 20cm e 4 cones de Abrams.

5.3.1 Determinação do traço

O seguinte traço foi calculado com intuito de obter um concreto de 30MPa. Sendo adotados os seguintes materiais:

- Cimento Portland CP III 40, por ser o mais encontrado na região.
- Brita 1 – 19mm
- Areia média – Módulo de Finura de 3,2mm
- Abatimento ou Slump – trabalhabilidade e consistência, foi adotado de 60±10
- Espumas de PU trituradas (rígidas e flexíveis)
- Método: Associação brasileira de Cimento Portland – ABCP e American Concrete Institute – ACI

5.3.1.1 Cálculos

Fator água/cimento:

Sendo a classe do cimento 40 e o f_{cj} desejado 30MPa, utilizando o ábaco das curvas de Walz encontramos $f_{a/c} = 0,62$.

Quantidade de água:

A quantidade de água $Q_{\text{água}}$ para o Slump dado de 60±10 mm e dimensão máxima do agregado graúdo de 19mm dado pela tabela 5.1.

Tabela 5.1 – CONSUMO DE ÁGUA APROXIMADO (litros/m³ de concreto)

Abatimento do troco de cone (mm)	Dimensão máxima característica (mm)				
	9,5	19	25	32	38
40 a 60	220 L	195 L	190 L	185 L	180 L
60 a 80	225 L	200 L	195 L	190 L	185 L
80 a 100	230 L	205 L	200 L	195 L	109 L

Fonte: Método de dosagem ABCP

Conforme a tabela, o consumo de água será de 195 L/m³ de concreto.

Quantidade de cimento:

$$F_{a/c} = Q_{\text{água}}/Q_{\text{cimento}},$$

$$Q_{\text{cimento}} = Q_{\text{água}}/F_{a/c} \quad (\text{kg de cimento/ m}^3 \text{ de concreto})$$

Logo:

$$Q_{\text{cimento}} = 314,516 \text{ kg/m}^3$$

Volume da brita (V_{brita}):

O volume da brita é dado pela tabela 5.2 sendo definido pelo módulo de finura da areia e a dimensão máxima característica do agregado graúdo adotado.

TABELA 5.2 – VOLUME COMPACTADO SECO DE AGREGADO GRAÚDO
(m³ de brita/m³ de concreto)

Módulo de finura da areia	Dimensão máxima característica do agregado graúdo (mm)				
	9,5	19	25	32	38
1,8	0,645	0,770	0,795	0,820	0,845
2,0	0,625	0,750	0,775	0,800	0,825
2,2	0,605	0,730	0,755	0,780	0,805
2,4	0,585	0,710	0,735	0,760	0,785
2,6	0,565	0,690	0,715	0,740	0,765

Módulo de finura da areia	Dimensão máxima característica do agregado graúdo (mm)				
	9,5	19	25	32	38
2,8	0,545	0,670	0,695	0,720	0,745
3,0	0,525	0,650	0,675	0,700	0,725
3,2	0,505	0,630	0,655	0,680	0,705
3,4	0,485	0,610	0,635	0,660	0,685
3,6	0,465	0,590	0,615	0,640	0,665

Fontes: Método de dosagem ABCP

Para o módulo de finura de areia 3,2mm:

$$V_b = 0,630 \text{ m}^3 \times \text{m}^3 \text{ de concreto}$$

Volume da areia (V_{areia}):

$$V_{\text{areia}} = 1 - (Q_{\text{cimento}} / \gamma_{\text{abs}}^{\text{cimento}} \times 1000) + (Q_{\text{brita}} / \gamma_{\text{abs}}^{\text{brita}} \times 1000) + (Q_{\text{água}} / 1000)$$

Logo:

$$V_{\text{areia}} = 0,336 \text{ m}^3 \text{ de areia}$$

Quantidade de areia (Q_{areia}):

$$Q_{\text{areia}} = V_{\text{areia}} \times \gamma_{\text{abs}}^{\text{areia}} \times 1000$$

$$\gamma_{\text{abs}}^{\text{areia}} = 2,62$$

Temos então:

$$Q_{\text{areia}} = 877,70 \text{ Kg/m}^3 \text{ de concreto}$$

Segue abaixo tabela 5.3 do resumo do traço calculado para o consumo de material por m^3 de concreto:

TABELA 5.3 – RESUMO DO CONSUMO DE MATERIAL POR M^3 DE CONCRETO

TRAÇO CALCULADO			
Cimento (kg)	Areia (kg)	Brita (kg)	Água (L)
314,52	877,70	951,30	195,0

Fontes: Autores

Na tabela 5.4, temos o consumo de material para montagem de 16 corpos de prova 10 x 20 cm, e cone para medida do Slump de 30 x 20 x 10 cm.

TABELA 5.4 – CONSUMO DE MATERIAL PARA CORPOS DE PROVA

Traço	Cimento (kg)	Areia (kg)	Brita (kg)	Água (L)	Pu (kg)
0%	2,96	8,270	8,96	1,836	-
25%	2,96	6,200	8,96	1,836	0,07767
50%	2,96	4,135	8,96	1,836	0,1556
75%	2,96	2,067	8,96	1,836	0,2331
Total	11,84	20,672	35,84	7,344	0,46637

Fontes: Autores

Notou-se a redução do volume do concreto causada pela substituição da areia pelo PU, gerada pela compactação do agregado, devido a isso, viu-se a necessidade de recalcular o traço de 75% para mais corpos de provas, visando obter o volume de concreto necessário para os experimentos. Segue na tabela 5.5, abaixo, novo traço calculado:

TABELA 5.5 – CONSUMO DE MATERIAL PARA CORPOS DE PROVA DE 75% DE PU

Traço	Cimento (kg)	Areia (kg)	Brita (kg)	Água (L)	Pu (kg)
75%	3,450	2,410	110,45	2,140	0,27195

Fontes: Autores

O concreto foi analisado em estado fresco pelo ensaio de abatimento do tronco de cone e após o endurecimento pelo ensaio de resistência à compressão.

5.3.2 Confeção dos corpos de provas

Os materiais foram pesados conforme as medidas obtidas nos cálculos dos traços, tanto no convencional, como os concretos com 25%, 50% e 75% de adição de espumas de PU.

Todos os traços foram preparados em betoneira, e após a mistura da massa foi despejada no carrinho de mão, utilizada para a determinação de consistência por abatimento do tronco cone, descrita no tópico a seguir, em seguida usada para preenchimento dos cilindros metálicos para confecção dos corpos de provas, conforme as figuras 5.6 e 5.7.



Fontes: Autores

Figura 5.6 e 5.7 – Betoneira em movimento e cilindros metálicos preenchidos pelo concreto a ser testado.

Após 24hs os corpos de provas foram deformados e foram mantidos em processo de cura úmida até atingirem a idade de ensaio, conforme norma NBR 9479, ilustrado na figura 5.8.



Fontes: Autores

Figura 5.8 – Corpos de provas após a deformação em processo de cura úmida.

5.3.3 Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone

A determinação da consistência do concreto pelo abatimento do tronco de cone foi realizada por um dos métodos mais utilizados em obras e

normalizado pela norma NBR NM67 (ABNT, 1998), esse método também é conhecido pelo termo inglês Slump-test.

O equipamento utilizado, comumente conhecido nas obras como Cone de Abrams, é composto por um molde metálico que possui a forma de um cone, com 30 cm de altura, base maior de 20 cm e base menor de 10 cm, uma haste metálica de compactação, uma placa base (metálica) e um funil metálico, conforme a figura 5.9. Além desses equipamentos, para a realização desse ensaio são necessários, carrinho de mão, colher de pedreiro, trena ou régua.



Fontes: Autores

Figura 5.9 – Cone metálico em cima da base, com funil.

No presente estudo, as amostras de concreto foram retiradas diretamente da betoneira, em quantidade suficiente para o ensaio, e despejada sequencialmente num carrinho de mão. Após despejado no carrinho, a amostra foi misturada e manuseada por uma colher de pedreiro.

O Slump-teste é realizado apoiando os pés sobre os estribos do cone de Abrams, com um funil superior acoplado, colocado sobre a placa base nivelada, no qual adiciona 3 camadas de concreto, sendo a primeira, até atingir aproximadamente 1/3 da altura do cone; com uma haste metálica, golpeia-se a camada de maneira uniforme por toda seção com 25 golpes para obter um adensamento correto, repetindo o mesmo procedimento para o preenchimento das demais camadas, evitando no adensamento que a haste penetre na camada anterior já adensada e com a colher retira-se o excesso de concreto da superfície superior, nivelando-a.

Após o nivelamento, retira-se o cone, puxando pra cima, de forma cuidadosa, e imediatamente coloca-se o cone invertido ao lado da massa abatida, referenciando a altura com auxílio da haste, mede-se com a trena ou régua a distância da parte inferior da haste entre o centro na massa, obtendo o resultado em centímetros.

5.3.4 Ensaio de resistência à compressão axial simples

A verificação da resistência à compressão é o ensaio mais usado para controle da qualidade do concreto, por ser de fácil execução e de baixo custo quanto a sua importância na segurança e durabilidade de uma estrutura. Essa verificação é medida pelo ensaio de compressão axial simples, através de uma máquina de compressão, na qual são colocados os corpos de prova cilíndricos, um por um, que são carregados até a ruptura.

Nesse estudo, todos os procedimentos seguiram a norma NBR 5739 (ABNT,1994). As idades dos corpos de provas foram contadas a partir do momento em que o cimento foi posto em contato com a água. Os corpos de provas foram mantidos imersos na água até atingirem a idade de ensaio, conforme norma NBR 9479. Sendo rompidos logo após a retirada da imersão, respeitando assim, a tolerância de tempo para cada ensaio de compressão em função da idade de ruptura.

Após a ruptura os corpos de prova foram comparados às figuras de Esboço dos tipos de ruptura, contida na norma e identificadas. Foram realizados rompimento nas idades de 7 e 28 dias, sendo tomada como resistência a média dos dois corpos de provas para cada traço e para cada idade.

6 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Nesse capítulo são apresentados os resultados obtidos nos ensaios de determinação de consistência e resistência à compressão.

6.1 DETERMINAÇÃO DA CONSISTÊNCIA PELO ABATIMENTO DO TRONCO CONE

A consistência do concreto foi determinada conforme a norma NBR NM 67 (ABNT, 1998), sendo os resultados apresentados na Tabela 6.1 e demonstrados nas figuras 6.1, 6.2, 6.3 e 6.4.



Fontes: Autores

Figura 6.1 e 6.2 – Slump-teste das amostras de concreto com 0% e 25% de adição de espumas de PU, respectivamente.



Fontes: Autores

Figura 6.3 e 6.4 – Slump-teste das amostras de concreto com 50% e 75% de adição de espumas de PU, respectivamente.

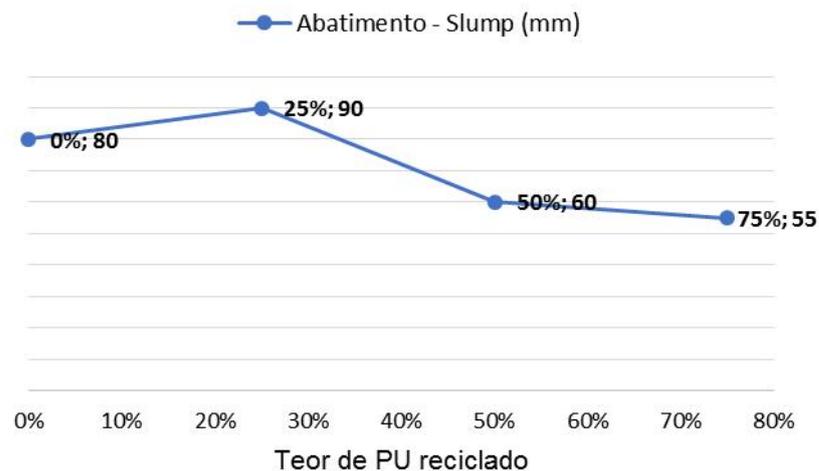
O concreto apresentou homogeneidade e coesão, havendo um completo envolvimento dos agregados pela pasta.

TABELA 6.1 – DETERMINAÇÃO DA CONSISTÊNCIA PELO ABATIMENTO DO TRONCO CONE – SLUMP TEST

Substituição (%)	Abatimento – Slump (mm)
0	80
25	90
50	60
75	55

Fonte: Autores

Sendo o slump adotado no cálculo do traço de 60 ± 10 mm, na Tabela 6.1 e no Gráfico 6.1, podemos observar que os concretos com 50% e 75% de PU obtiveram o slump desejado, levando em consideração que em cada traço houve um reajuste de correção fator a/c, pois o concreto estava se apresentando muito seco, com receio de não haver a bom envolvimento dos agregados pela massa, foram realizados os ajustes apresentados na Tabela 6.2.



Fonte: Autores

GRÁFICO 6.1 – ABATIMENTO DO TRONCO DE CONE – SLUMP

TABELA 6.2 – ADIÇÃO DE AGUA/CIMENTO FEITO NO TRAÇO DO CONCRETO NO MOMENTO DO PREPARO

Traço – Substituição (%)	Adicional Fa/c	
	Cimento (g)	Água (ml)
0	807	500
25	864	530
50	807	500
75	807	500

Fonte: Autores

6.2 DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

A resistência à compressão diminuiu à medida que houve o aumento da substituição de areia por PU. A resistência aumentou significativamente com o aumento da idade, o que era esperado. Os ensaios foram realizados segundo a norma NBR 5739 (ABNT, 2007).

Os resultados da resistência à compressão adquiridos com o rompimento dos corpos de prova realizados aos 7 e 28 dias para traço convencional e para as substituições de 25%, 50% e 75% de areia pelos diferentes tipos de espumas de PU, podem ser verificados na Tabela 6.3 e Tabela 6.4, expressos em MPa. E estão demonstrados nas figuras 6.5 a 6.20, abaixo com resistências expressas em tf.



Fontes: Autores

Figura 6.5 e 6.6 – Amostras 1 e 2 respectivamente. Corpos de provas do concreto de traço convencional com 7 dias de cura, sendo rompidos.



Fontes: Autores
Figura 6.7 e 6.8 – Amostras 1 e 2 respectivamente. Corpos de provas do concreto de traço 25% com 7 dias de cura, sendo rompidos.



Fontes: Autores
Figura 6.9 e 6.10 – Amostras 1 e 2 respectivamente. Corpos de provas do concreto de traço 50% com 7 dias de cura, sendo rompidos.



Fontes: Autores

Figura 6.11 e 6.12 – Amostras 1 e 2 respectivamente. Corpos de provas do concreto de traço 75% com 7 dias de cura, sendo rompidos



Fontes: Autores

Figura 6.13 e 6.14 – Amostras 1 e 2 respectivamente. Corpos de provas do concreto de traço convencional com 28 dias de cura, sendo rompidos.



Fontes: Autores

Figura 6.15 e 6.16 – Amostras 1 e 2 respectivamente. Corpos de provas do concreto de traço de 25% com 28 dias de cura, sendo rompidos.



Fontes: Autores

Figura 6.17 e 6.18 – Amostras 1 e 2 respectivamente. Corpos de provas do concreto de traço de 50% com 28 dias de cura, sendo rompidos.



Fontes: Autores

Figura 6.19 e 6.20 – Amostras 1 e 2 respectivamente. Corpos de provas do concreto de traço de 75% com 28 dias de cura, sendo rompidos.

Os corpos de provas foram pesados com intuito de verificar se houve a diminuição do peso entre o convencional e os feitos com a substituição de areia por espuma de PU. Os pesos dos respectivos corpos de provas estão apresentados na Tabela 6.3 e Tabela 6.4.

TABELA 6.3 – RESISTENCIA Á COMPRESSÃO ENSAIO AOS 7 DIAS

Traço	Amostra	Massa (kg)	Resistência à compressão (MPa)	Média da resistência (MPa)
Convencional	1	3,755	17,3	17,3
	2	3,765	17,3	
25% (PU)	1	3,790	12,1	13,3
	2	3,740	14,6	
50% (PU)	1	3,710	9,9	12,0
	2	3,650	14,2	
75% (PU)	1	3,510	9,3	9,4
	2	3,580	9,5	

Fontes: Autores

TABELA 6.4 – RESISTENCIA À COMPRESSÃO ENSAIO AOS 28 DIAS

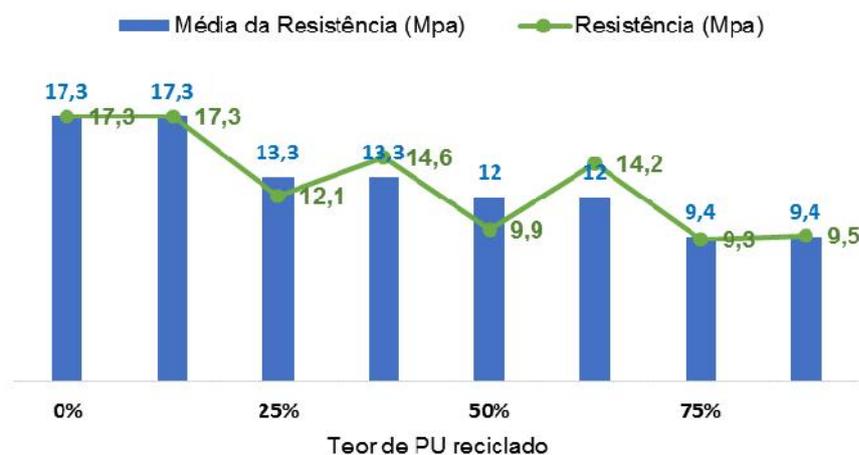
Traço	Amostra	Massa (kg)	Resistência a compressão (MPa)	Média da resistência (MPa)
Convencional	1	3,725	27,8	28,7
	2	3,775	29,7	
25% (PU)	1	3,770	23,9	24,8
	2	3,680	25,7	
50% (PU)	1	3,660	21,8	21,5
	2	3,680	21,3	
75% (PU)	1	3,535	18,5	16,4
	2	3,560	14,3	

Fontes: Autores

Observando os valores das massas na Tabela 6.3 e na Tabela 6.4, e compararmos com a massa da convencional, podemos notar uma diminuição na massa das amostras nas quais foram feitas a substituição de areia por espumas de PU, as resistências relatadas também apresentaram diminuição.

Na Tabela 6.4, a diferença de peso entre a amostra convencional e a de 75% varia entre 0,165 kg a 0,240 kg, sendo uma diferença de massa significativa, considerando que o volume do cilindro é de 0,0251m³.

No Gráfico 6.2 e 6.3, é feita a comparação entres as resistências à compressão e as médias das resistências á compressão do concreto convencional com a dos concretos que contem substituição de areia por espumas de PU.



Fonte: Autores

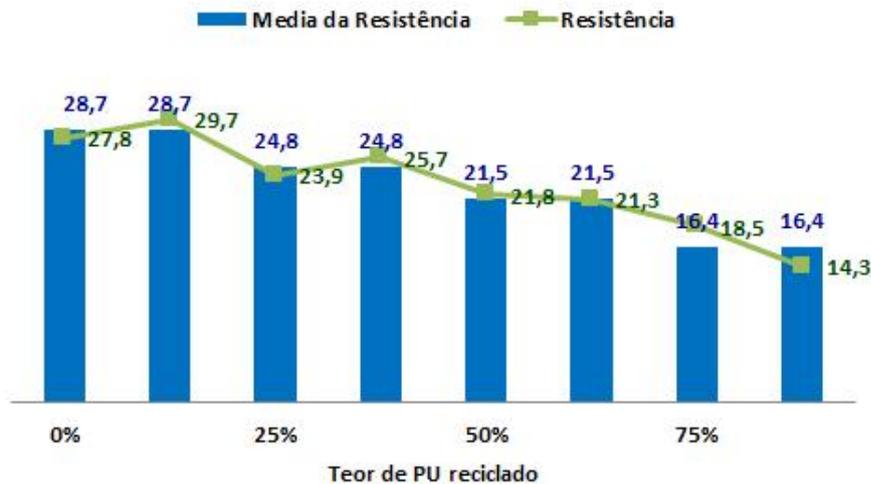


GRÁFICO 6.2 – COMPARAÇÃO DAS RESISTÊNCIAS Á COMPRESSÃO COM MÉDIA ENTRE AS RESISTÊNCIAS DO ENSAIO DE 7 DIAS

Fonte: Autores

GRÁFICO 6.3 – COMPARAÇÃO DAS RESISTÊNCIAS Á COMPRESSÃO COM MÉDIA ENTRE AS RESISTÊNCIAS DO ENSAIO DE 28 DIAS

Observando o Gráfico 6.2 e o Gráfico 6.3, verificamos que os corpos de provas com 25% e 50% de substituição de areia por espumas PU rompidos aos 7 e 28 dias, apresentaram resistência de compressão favoráveis não muito menor que a resistência das amostras convencionais.

7 CONCLUSÃO

Com os resultados apresentados neste estudo sobre o concreto com substituição do agregado miúdo por diferentes tipos de espuma de PU pós-consumida, podemos estabelecer as seguintes conclusões:

As espumas de PU em meio cimentício apresentaram diminuição do volume da massa, comparando os volumes dos traços 0%, 25%, 50% com os de 75%, foi necessário o aumento de todo o traço para preencher os corpos de provas necessários, aumentando o consumo de cimento, brita e água para a obtenção do volume de concreto almejado.

Baseado nos resultados dos corpos de provas rompidos aos 7 e 28 dias, comparando ao concreto sem substituição de areia por PU, os com substituição PU 25% e 50% apresentaram valores consideráveis de resistências.

Em relação a massa do concreto, ao comparar notou pouca diferença entre o convencional e os com substituição de areia por PU, nas amostras de 7 dias. Já nas amostras de 28 dias notou-se uma diferença considerável, apresentou 5% mais leve.

Considerando os valores de resistências apresentados na ABNT NBR NM35:1995 para concretos leves, podemos perceber que os concretos com adição de 50% de espumas, está de acordo com a norma que exige no mínimo aos 28 dias um concreto com a resistência de 17 MPa, faltando apenas analisar a questão massa específica aparente.

Podendo ser estudado em futuras pesquisas a análise da massa específica aparente, módulo de elasticidade, porcentagem absorção de água do agregado de PU, coeficiente de permeabilidade à água.

REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 5739: **Concreto – Ensaio de Compressão de corpo de prova cilíndrico**. Rio de Janeiro, 2007.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 7211: **Agregado para Concreto**. Rio de Janeiro, 2005.
3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR NM35: **Agregados leves para concreto estrutural**. Rio de Janeiro, 1995.
4. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR NM 67: **Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do troco cone**. Rio de Janeiro, 1995.
5. Associação Brasileira da Indústria do Poliuretano (ABRIPUR) – Disponível em <abripur.org> – Acessado em 02 de Junho de 2018.
6. **Agregados para a construção civil** – Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) – São Paulo, 2010.

7. BAUER, L. A. F. **Materiais de Construção** – Vol. 1, 5ª Edição Revisada, São Paulo, 1995.
8. BOTELHO, M. H. C. **Concreto Armado, eu te amo, para arquitetos** – São Paulo, 2006.
9. CASTRO, D. M. M. **Considerações sobre a Extração Mineral na região Metropolitana do Rio de Janeiro** – Anuário do Instituto de Geociência – UFRS, Vol.15, Rio de Janeiro, 1992.
10. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. **Resolução n.267**. 2000.
11. COUTO, J. A. S. **Concreto como material de construção**, Cadernos de Graduação - Ciências Exatas e Tecnológicas, Vol. 1, Sergipe, 2013.
12. **Guia Básico de Utilização do Cimento Portland** – Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) – 7ª Edição, São Paulo, 2002.
13. **GUIDE FOR STRUCTURA LIGTWEIGTT: Aggregate concrete** – ACI 213R-87. 1999.
14. Instituto Brasileiro de Concreto – IBRACON. Disponível em <<http://site.ibracon.org.br>>. Acessado em 19 de Julho de 2018.
15. LIMA, V.; **Estudo de catalisadores organometálicos na síntese de poliuretanos**. Dissertação – Engenharia e Tecnologia de Materiais – Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.
16. MARIANO, S. S.; **Avaliação do efeito da substituição da areia por espumas rígidas pós-consumidas de poliuretano nas propriedades do concreto de cimento Portland**, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

17. MAYCA, J.; CREMONINI, R. A; RECENA, F. A. P. – **Contribuição ao estudo da argila expandida nacional como alternativa de agregado graúdo para concretos leves estruturais**, 2008.
18. MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Estruturas, propriedades e Materiais**. 1ª Edição. IBRACON. São Paulo, 1994.
19. **Mercado: Perspectivas para o setor de Agregados 2018. Associação Nacional das Entidades de Produtos de Agregados para a Construção Civil (ANEPAC)** – São Paulo, 2018.
20. OECD – ORGANIZATION FOR ECONOMIC CO – OPERATION AND DEVELOPMENT. Environmental Outlook for the Chemicals industry. Relatory, 161 p., Paris, 2001.
21. Organização das Nações Unidas (ONU) – Disponível em <<https://nacoesunidas.org/cidades-terao-mais-de-6-bilhoes-de-habitantes-em-2050-destaca-novo-relatorio-da-onu/>> – Acessado em 19 de Julho de 2018.
22. Plataforma de Soluções de Poliuretano (Purcom) – Disponível em <<http://www.purcom.com.br>> – Acessado em 02 de Junho de 2018.
23. ROSSIGNOLO, J. A. **Concreto leve estrutural: produção, propriedades, microestrutura e aplicações**. 1ª Ed. São Paulo: PINI, 2009.
24. SOUZA JÚNIOR, T. F. **Estruturas de Concreto Armado**. Universidade Federal de Lavras, MG, 2003.
25. VILLA, W. D. **Química e tecnologia dos poliuretanos**. 4ª Edição. 1998.