

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JULIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS FARMACÊUTICAS
CÂMPUS DE ARARAQUARA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE BIOMATERIAIS E BIOPROCESSOS
MESTRADO PROFISSIONAL

**UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS NA PRODUÇÃO DOS
BLOCOS DE CONCRETO**

TALES RICARDO FERREIRA ZANQUETTA

ORIENTADOR: Prof. Dr. Carlos Frederico de Oliveira Graeff

CO-ORIENTADOR: Prof. Dr. Rondinelli Donizetti Herculano

ARARAQUARA - SP

2022

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JULIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS FARMACÊUTICAS
CÂMPUS DE ARARAQUARA

UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS NA PRODUÇÃO DOS BLOCOS
DE CONCRETO

TALES RICARDO FERREIRA ZANQUETTA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Biomateriais e Bioprocessos (Mestrado Profissional), Área de Biomateriais, Bioprocessos, Bioprodutos da Faculdade de Ciências Farmacêuticas, UNESP, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Engenharia de Biomateriais e Bioprocessos.

ORIENTADOR: Prof. Dr. Carlos Frederico de Oliveira Graeff

CO-ORIENTADOR: Prof. Dr. Rondinelli Donizetti Herculano

ARARAQUARA - SP

2022

Z38u

Zanquetta, Tales Ricardo Ferreira.

Utilização de resíduos industriais na produção dos blocos de concreto / Tales Ricardo Ferreira Zanquetta. – Araraquara: [S.n.], 2022. 69 f. : il.

Dissertação (Mestrado Profissional) – Universidade Estadual Paulista. "Júlio de Mesquita Filho". Faculdade de Ciências Farmacêuticas. Programa de Pós Graduação em Engenharia de Biomateriais e Bioprocessos. Área de Biomateriais, Bioprocessos, Bioprodutos.

Orientador: Carlos Frederico de Oliveira Graeff.

Coorientador: Rondinelli Donizetti Herculano.

1. Resíduo. 2. Poliuretano. 3. Esponja. 4. Fibra. 5. Concreto. 6. Polímeros. I. Graeff, Carlos Frederico de Oliveira, orient. II. Herculano, Rondinelli Donizetti, coorient. III. Título.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: Utilização de resíduos industriais na produção dos blocos de concreto

AUTOR: TALES RICARDO FERREIRA ZANQUETTA

ORIENTADOR: CARLOS FREDERICO DE OLIVEIRA GRAEFF

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Engenharia de Biomateriais e Bioprocessos, área: Biomateriais, Bioprocessos, Bioprodutos pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. CARLOS FREDERICO DE OLIVEIRA GRAEFF (Participação Virtual)
Departamento de Física / Faculdade de Ciências do Câmpus de Bauru da Unesp

Prof. Dr. ANTONIO CARLOS GUASTALDI (Participação Virtual)
Departamento de Química Analítica Físico Química e Inorgânica / Instituto de Química do Câmpus de Araraquara da UNESP

Dr. CASSAMO USSEMANE MUSSAGY (Participação Virtual)
Faculdade de Ciências Farmacêuticas da Universidade de São Paulo - USP

Araraquara, 14 de dezembro de 2022

Dedico este trabalho à minha mãe (in memoriam) por sempre ter me incentivado que o
melhor caminho é a educação e o aprendizado.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, em primeiro lugar, a Deus.

Agradeço a meus familiares, minha esposa Carol, meus filhos Luís Henrique e Maria Eduarda, por sempre me apoiarem.

À minha mãe, Beth, maior exemplo de vida e amor, in memoriam.

Agradeço à empresa Santa Maria Ltda e a funcionária Nayara Macedo que colaborou para a realização deste projeto, além do auxílio na disponibilização de materiais e dados. Ao Grupo de Biomateriais e Bioprocessos da UNESP de Araraquara pelo apoio. Além disso, agradeço também as empresas Polisantos, Construínas e a Fundação Educacional de Ituverava por contribuírem com o trabalho em seus laboratórios.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Carlos Frederico de Oliveira Graeff por toda disponibilidade, ajuda e expansão nos objetivos do projeto.

Ao meu co-orientador, Prof. Dr. Rondinelli Donizetti Herculano, por acreditar no projeto, por todos os ensinamentos, incentivo, estímulo, confiança e paciência nessa jornada.

Aos componentes da Banca Examinadora, Prof. Dr. Antônio Carlos Guastaldi e Prof. Dr. Cassamo Ussemane Mussagy pela disponibilidade e pelas valiosas contribuições no trabalho.

A Cláudia L. Molina e todos os funcionários da Seção de Pós-graduação da UNESP Araraquara.

Aos docentes do programa de Pós-graduação EBB – FCF/UNESP.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização desse trabalho.

SUMÁRIO

1. Introdução.....	12
2. Objetivos.....	14
3. Revisão da Literatura.....	15
3.1 Os resíduos industriais e o impacto ambiental	15
3.2 Os resíduos industriais de esponjas de Poliuretano (PU) e fibra:	18
3.3 Alternativas sustentáveis para os resíduos industriais:.....	22
3.3.1 Alternativas sustentáveis para os resíduos industriais de Poliuretano (PU): ...	24
3.4. O Bloco de concreto como alternativa para os resíduos:.....	27
3.4.1 Fabricação do Bloco de concreto:.....	30
3.5 Potencial de Inovação:.....	32
4 Materiais e Métodos.....	34
4.1 Caracterização dos materiais	34
4.1.1 Cimento	34
4.1. 2 Pedrisco	34
4.1. 3 Areia Fina e Média.....	34
4.1. 4 Água	35
4.1. 5 Resíduos de esponja de poliuretano e fibra abrasiva	35
4.2 Métodos	35
4.2.1 Trituração dos resíduos – Obtenção do PU moído	35
4.2.2 Preparação dos corpos de prova.....	36
4.3 Caracterização físico-química e mecânica dos blocos de concreto.....	40
4.3.1 Espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR)	40
4.3.2. Ensaio mecânico de compressão	40
4.5. Análise de imagens no Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV).....	41
4.4 Análise Estatística.....	41
5 Resultados e Discussão	42
5.1 Otimização da trituração dos resíduos das esponjas.....	42
5.2 Caracterização físico-química e mecânica do bloco de concreto	43
5.2.1. Espectroscopia no infravermelho (FTIR) do PU e Fibra	43
5.2.2. Espectroscopia no infravermelho (FTIR) do Concreto	44
5.2.3. Espectroscopia no infravermelho (FTIR) do Concreto com PU-fibra:	45
5.2.4. Primeiro Ensaio de Compressão a Ruptura (f_{bk}).....	46

5.2.5 Segundo Ensaio de Compressão a Ruptura (f_{bk}).....	51
5.2.5 Análise após os dois ensaios de compressão	54
5.3 Análise de imagens no Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV).....	55
6. Conclusões	59
7. Perspectivas	60
7.1 Perspectivas técnicas	60
7.2 Perspectivas econômicas e sustentáveis	60
8. Referências.....	61

RESUMO

Vários segmentos da sociedade têm se voltado para os conceitos da sustentabilidade, pesquisando alternativas para diminuir os impactos causados pelo consumo, muitas vezes, indiscriminado de matéria-prima e pelo enorme volume de resíduos gerados, entre os quais se incluem as esponjas de poliuretano e fibra abrasiva, a popular esponja de lavar louça - verde e amarela. O destino de resíduos industriais de esponjas de poliuretano e fibra abrasiva, para outras finalidades que não sejam os aterros sanitários, como a utilização em blocos de concreto, caracteriza-se como importante medida de valorização de resíduos sólidos e redução do desperdício de matéria prima. Deste modo, este trabalho tem como objetivo analisar viabilidade técnica da utilização de resíduos das esponjas produzidas em uma indústria do segmento de produtos de limpeza e agregar valor a estes resíduos incorporando-os em blocos de concreto. Para tal um estudo experimental foi feito com os resíduos de PU e fibra, onde foram moídos até granulação ideal para produção dos blocos de concreto. Corpos de prova com a incorporação de PU-fibra em 5%, 10%, 20% e um bloco de referência 0% foram produzidos. Um primeiro ensaio exploratório com os corpos de prova indicou que o bloco com 5% de PU e fibra obteve 49,21% mais resistência em comparação com o de referência (3,76 MPa). Os resultados preliminares mostram que o bloco com até 5% de PU possui propriedades superiores ao concreto convencional. Os blocos produzidos com 10 e 20% de PU podem ser ajustados para serem utilizados como blocos de concreto para vedação, possuindo resistência de ~2 MPa, sendo empregados para paredes e muros, conforme a NBR 6136/2016. Consequentemente, uma análise em quintuplicata constatou que os materiais escolhidos, bem como o tempo de cura influencia no comportamento (compressão). A espectroscopia no infravermelho mostrou que o polímero está ligado fracamente a cerâmica (adsorção química), e esse comportamento foi comprovado pelas micrografias de MEV, em que observamos o polímero adsorvido no concreto. Desta forma, encontramos uma destinação apropriada para este resíduo, minimizando os possíveis impactos ambientais, causados pela destinação inadequada, além da agregarmos valor econômico para esse resíduo.

Palavras-Chave: Resíduo. Poliuretano. Esponja. Fibra. Concreto. Polímeros.

ABSTRACT

Several segments of society have turned to the concepts of sustainability, researching alternatives to reduce the impacts caused by the often-indiscriminate consumption of raw materials and the enormous volume of waste generated, including polyurethane and fiber sponges. abrasive, the popular dishwashing sponge - green and yellow. The destination of industrial waste of polyurethane sponges and abrasive fiber, for purposes other than sanitary landfills, such as use in concrete blocks, is characterized as an important measure for valuing solid waste and reducing the waste of raw materials. Thus, this work aims to analyze the technical feasibility of using waste from sponges produced in an industry in the segment of cleaning products and add value to these wastes by incorporating them into concrete blocks. For this purpose, an experimental study was carried out with PU and fiber residues, where they were ground to the ideal granulation to produce concrete blocks. Test specimens with PU-fiber incorporation at 5%, 10%, 20% and a 0% reference block were produced. A first exploratory test with the specimens indicated that the block with 5% PU and fiber obtained 49.21% more resistance compared to the reference block (3.76 MPa). Preliminary results show that the block with up to 5% PU has superior properties to conventional concrete. The blocks produced with 10 and 20% PU can be adjusted to be used as concrete blocks for sealing, with a resistance of ~2 MPa, being used for walls and walls, according to NBR 6136/2016. Consequently, a quintuplicate analysis found that the materials chosen, as well as the curing time, influence the behavior (compression). Infrared spectroscopy showed that the polymer is weakly bound to ceramics (chemical adsorption), and this behavior was confirmed by SEM micrographs, in which we observed the polymer adsorbed on concrete. In this way, we find an appropriate destination for this waste, minimizing the possible environmental impacts caused by inadequate disposal, in addition to adding economic value to this waste

Keywords: Residue. Polyurethane. Sponge. Fiber. Concrete. Polymers.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Fluxo de setores econômicos e impactos ambientais.....	16
Figura 2: Esponja de limpeza de poliuretano e fibra abrasiva, Indústria Santa Maria Ltda localizada em Ituverava-SP	18
Figura 3: Resíduos das esponjas de PU e fibra abrasiva	19
Figura 4: Fórmula Estrutural de um Poliuretano (PU)	19
Figura 5: Bloco de concreto	29
Figura 6: Cimento Portland	31
Figura 7: Materiais utilizados	34
Figura 8: Preparação da massa para corpo de prova.....	37
Figura 9: Auxílio de uma espátula para fazer mistura.....	38
Figura 10: Preparação dos corpos de prova.....	39
Figura 11: Corpos de prova	39
Figura 12: Esponja de Poliuretano e fibra triturada em moinho de facas.....	42
Figura 13: A) Cilindro duplo Babinni; B) Trituração dos resíduos de PU e fibra	43
Figura 14: Granulação atingida na trituração feita no cilindro duplo	43
Figura 15: Espectro de FTIR dos resíduos de PU e fibra	44
Figura 16: Espectro de FTIR do Concreto	45
Figura 17: Espectro de FTIR do bloco: C0: 0% PU e fibra; C1: 5% PU e fibra; C2: 10% PU e fibra; C3: 20% PU e fibra	46
Figura 18: Ensaio mecânico à compressão: A) Corpo na prensa; B) Ruptura; C) Corpos de prova após ensaio mecânico	48
Figura 19: Processo de cura - 28 dias - Corpos de prova imersos em água e cal.....	52
Figura 20: Imagem Amostra C0 - ampliação 100x.....	55
Figura 21: Imagem Amostra C1 - ampliação 100x.....	56
Figura 22: Amostras C0, C1, C2, C3 - ampliação 1000x	56
Figura 23: Amostras C0, C1, C2, C3 - ampliação 10000x	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Geração de Resíduos Sólidos Industriais no Brasil	17
Tabela 2: Métodos de reciclagem e degradação das esponjas de PU	21
Tabela 3: Tempo de decomposição (em anos).....	22
Tabela 4: Trabalhos com Resíduos de PU	27
Tabela 5: Dimensões dos blocos	29
Tabela 6: Requisitos para resistência característica à compressão	30
Tabela 7: Autores, tipos de espuma, reciclagem e equipamentos utilizados.....	36
Tabela 8: Corpos de prova (% em volume do corpo)	38
Tabela 9: Massas e cargas de ruptura.....	49
Tabela 10: Amostra C0 – Cimento Puro	52
Tabela 11: Amostra C1 – Cimento com 5%PU	53
Tabela 12: Amostra C2 – Cimento com 10%PU	53
Tabela 13: Amostra C3 – Cimento com 20%PU	53

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ASTM - American Society for Testing and Materials

PU - Poliuretano

EPI - Equipamentos de Proteção Individual

FTIR - Espectroscopia no infravermelho por Transformada de Fourier

TG/DTG - Métodos termoanalíticos de análise - Termogravimetria Derivada

PVC - Plástico Policloreto de Vinil

MPa - Mega Pascal

MEV - Microscópio Eletrônico de Varredura

1. Introdução

Uma sociedade de consumo significa produção de resíduos. Resíduos são substâncias, produtos ou materiais gerados em um processo industrial ou agrícola que, no mesmo processo ou em outro, ainda podem ser reaproveitados (SPADOTTO; RIBEIRO, 2006). Em diversas escalas, mundial, nacional e municipal, esse processo resulta em imensos depósitos de materiais abandonados, que degradam o ambiente pela simples deposição inadequada. Com o crescimento da população mundial, aumenta a capacidade do ser humano de interferir na natureza contribuindo para o aumento da poluição do planeta. Com a falta de utilização de recursos reaproveitáveis, nasce um intenso processo de discussão sobre o futuro do nosso planeta, caracterizado pelas questões ambientais (ROMANELLI, 2007).

A problemática em questão é a gestão de resíduos industriais de poliuretano (PU) e fibra abrasiva - a popular esponja de lavar doméstica verde e amarela. Estes resíduos não devem ser descartados aleatoriamente em aterros devido ao longo tempo para degradação total. Esta esponja possui na sua composição materiais inorgânicos como cargas abrasivas e uma base constituída de materiais poliméricos, que após o descarte poluem o meio ambiente. Ainda se forem submetidos a processos de queima, visando incineração, além de consumirem O_2 geram CO_2 e gases tóxicos que são danosos para o nosso ecossistema (NERES, 2014).

O principal destino deste tipo de resíduo de espuma de PU e fibra abrasiva são os aterros e lixões. A demanda por poliuretano é muito alta, pois tem ampla aplicabilidade na indústria automotiva, espumas isolantes em geladeiras, isolamento de edifícios. Além disso, sua produção aumenta a cada ano, fazendo necessário um descarte ou um reuso ideal (CALDERON et al., 2018). As formas de reciclagem existentes são: química, incineração e biológica, porém, agridem muito o meio ambiente devido a liberação de gases tóxicos nos procedimentos.

A indústria da construção civil consome grandes volumes de matérias-primas na execução de obras de infraestrutura, de edifícios e de residências, a qual, por consequência, gera um grande impacto ao meio ambiente. Atualmente, com o surgimento de novas tecnologias e a otimização dos recursos utilizados, a construção civil permite elaborar e executar projetos que sigam as diretrizes

da sustentabilidade. Paralelamente a esse avanço do concreto observa-se a produção de blocos de concreto com a adição de resíduos (BRAVO, 2014).

Segundo Mattar e Vianna (2012), a inclusão de resíduos plásticos na produção de blocos de concreto caracteriza-se como importante medida de valorização do resíduo. Vários estudos têm pesquisado a opção de reaproveitamento de resíduos de espuma de poliuretano como agregado seco em diferentes matrizes de cimento ou gesso. Estudos com argamassas de cimento e PU mostraram que existe uma influência positiva desses agregados em sua fabricação, o que garante excelente durabilidade, mesmo em relação a outros agregados tradicionais. Pesquisas anteriores nos levam a pensar que o PU era capaz de reduzir a dureza ou outra variável dependendo do tipo de ensaio realizado. A escolha do volume de substituição depende das características que se deseja alcançar no produto (GOMES-ROJO et al., 2018).

A inclusão dos resíduos de espumas de PU em concreto têm melhorado além da parte mecânica do bloco a parte térmica e acústica (DIAZ et al., 2019; MAJOR et al., 2017). E para cada tipo de utilização se faz necessária uma trituração ideal, pois a parte amarela e verde da esponja possui componentes químicos que dependendo do compósito a ser produzido necessita de uma granulação. Por isso, as formas de trituração também são levadas em conta, seja por moinhos de facas ou por cilindros de dupla rotação (MARQUEZ; CELSO, 2020).

Neste projeto verificou-se que os resíduos de PU com fibra podem ser incorporados na produção de blocos de concreto e a inserção de 5% de resíduo mostrou-se viável, pois aumentou a resistência do bloco obtido.

2. Objetivos

Desenvolver um bloco de concreto incorporado com os resíduos de espuma de poliuretano e fibra abrasiva avaliando seu desempenho físico, microestrutural e mecânico.

Como objetivo específico, pode-se destacar:

- Realizar e analisar a trituração dos resíduos de PU e fibra;
- Produzir corpos de prova de concreto e resíduos de PU;
- Realizar ensaio de resistência à compressão;
- Realizar análise de FTIR dos componentes e do bloco obtido;
- Realizar a morfologia dos corpos de prova através do MEV;
- Determinar a quantidade ideal de resíduos no traço do bloco para a trabalhabilidade;

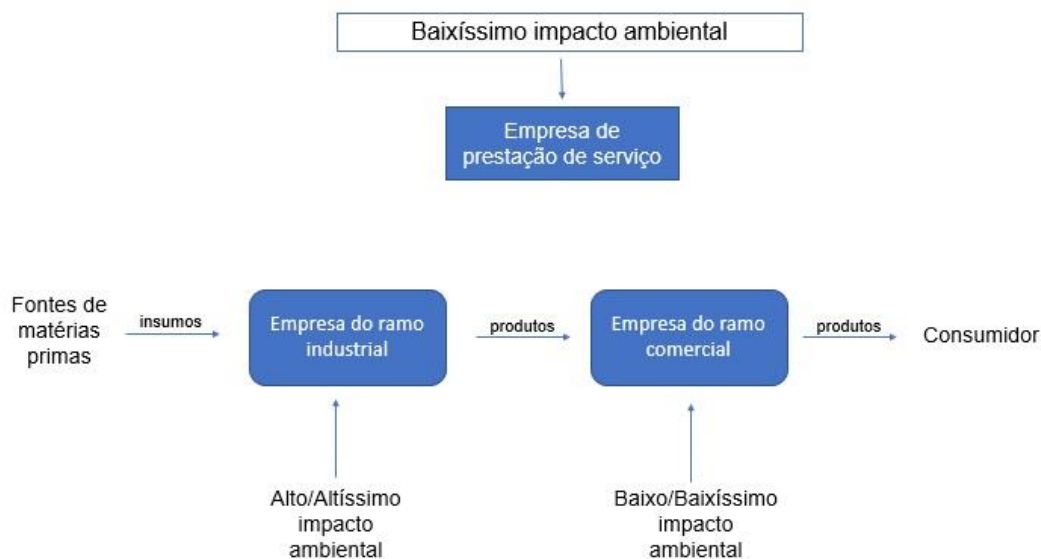
3. Revisão da Literatura

3.1 Os resíduos industriais e o impacto ambiental

Uma sociedade de consumo significa produção de resíduos. Resíduos são substâncias, produtos ou materiais gerados em um processo industrial ou agrícola que, no mesmo processo ou em outro, ainda podem ser reaproveitados (SPADOTO, 2006). Em diversas escalas, mundial, nacional e municipal, esse processo resulta em imensos depósitos de materiais abandonados, que degradam o ambiente pela simples deposição inadequada. Com o crescimento da população mundial, aumenta a capacidade do ser humano de interferir na natureza contribuindo para o aumento da poluição do planeta. Existe uma maneira de diminuir essa produção exacerbada de resíduos, diminuindo o descarte para a natureza de materiais recicláveis pela coleta seletiva. Tal processo resulta na diminuição considerável de lixo além de gerar renda para as pessoas que exercem este trabalho (SILVA, 2011). A constituição no seu artigo 225, assegura a todos o direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, incumbindo ao poder público o dever de preservá-lo para as presentes e futuras gerações (Artigo 225 da Constituição Federal de 1988).

Entre os vários tipos de impactos ambientais e ecológicos que as organizações causam ao meio ambiente, conforme Figura 1, as indústrias são as maiores geradoras pelo fato de transformarem insumos em produto. Já as empresas de setor comercial causam menores danos por fazerem a intermediação dos bens produzidos pelas indústrias. O menor impacto de todas fica por conta das empresas prestadoras de serviço (ANDRADE et al., 2002).

Figura 1: Fluxo de setores econômicos e impactos ambientais



Fonte: Adaptado de Andrade et al. (2002)

Conhecer o resíduo gerado na indústria permite o planejamento de estratégias de gerenciamento, que intervenham nos processos de geração, transporte, tratamento e disposição final, buscando garantir a qualidade do meio ambiente, bem como a recuperação da qualidade das áreas degradadas.

Neste sentido, no Brasil, para classificar os resíduos, adota-se a NBR 10.004, da Associação Brasileira de Normas Técnicas, que os divide da seguinte forma: classe I (perigosos), classe II A (não inertes) e classe II B (inertes). Os resíduos perigosos (classe I) são aqueles que podem acarretar, em função de suas propriedades físicas, químicas e infectocontagiosas, risco à saúde pública, provocando mortalidade, incidência de doenças ou acentuando seus índices; assim como riscos ao meio ambiente, quando manuseados ou dispostos de forma inadequada; ou serem inflamáveis, corrosivos, reativos, tóxicos e/ou patogênicos. Caso o resíduo não apresente estas características, ele se enquadra na categoria de resíduo não perigoso (classe II). Os resíduos da classe II podem ser classificados como não inertes (classe IIA), caso possuam propriedades como biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água, ou inertes (classe IIB), caso não possuam.

Os resíduos não inertes apresentam diferentes formas, que mesmo não possuindo poder de contaminação ou destruição, podem sujar rios, o solo e a

atmosfera, podendo ficar inativos por muito tempo. Além disso, esses resíduos podem ser solúveis em água e são capazes de pegar fogo. Alguns exemplos de resíduos não inertes, são: restos de alimentos; restos de madeira; materiais têxteis; fibras de vidro; lodo vindo de filtros; limalha de ferro; lama de sistemas de tratamento de água; poliuretano (presente em espumas, adesivos, preservativos, vedações, carpetes, tintas e mais); gessos; lixas; discos de corte; Equipamentos de Proteção Individual (EPI) não contaminados etc.

Conforme Relatório de Pesquisa do Instituto de Pesquisa de Economia Aplicada – IPEA 2012, os estados de Goiás, Minas Gerais e Paraná aparecem como os maiores geradores de resíduos industriais, à exceção dos resíduos não perigosos, cuja maior geração ocorre em São Paulo, conforme Tabela 1.

Tabela 1: Geração de Resíduos Sólidos Industriais no Brasil

Estado	Perigosos	Não perigosos	Total
AC	5.500	112.765	118.265
AP	14.341	73.211	81.552
CE	115.238	393.831	509.069
GO	1.044.957	12.657.326	13.702,273
MT	46.298	3.448.856	3.465.154
MG	828.183	14.337.011	15.165.194
PB	657	6.128.750	6.129.407
PE	81.583	7.267,930	7.349.513
PR	634.543	15.106.393	15.740.936
RN	3.363	1.543.450	1.546.813
RS	182.170	946.900	1.129.070
RJ	293.953	5.768.562	6.062.515
SP	563.615	26.084.062	26.619.677

Fonte: Relatório de Pesquisa do Instituto de Pesquisa de Economia Aplicada – IPEA (2012)

A necessidade de uma nova postura do homem com relação ao meio ambiente é uma realidade e para buscar a redução do consumo de recursos naturais e a produção de resíduos, precisam implantar estratégias de sustentabilidade que tentem minimizar essa problemática (KIPPER, 2005).

3.2 Os resíduos industriais de esponjas de Poliuretano (PU) e fibra:

Em relação a produtos de limpeza observa-se que alguns, foram substituídos por outros, economicamente mais favoráveis, mas que apresentam mais restrições de descartes para o meio ambiente. É o caso das esponjas de poliuretano (PU) e fibra abrasiva – as esponjas sintéticas em substituição as palhas de aço (NERES, 2014). Atualmente, na produção de esponjas (Figura 2) de poliuretano com fibra sintética, a popular esponja de lavar louça, na empresa Santa Maria Ltda, situada na cidade de Ituverava - SP, com uma produção cerca de 250.000 unidades/dia e participação na família de vendas dos produtos de 22%, verificou-se um resíduo montante de 200Kg/dia.

Figura 2: Esponja de limpeza de poliuretano e fibra abrasiva, Indústria Santa Maria Ltda localizada em Ituverava-SP



Fonte: Indústria Santa Maria Ltda (2022) (Disponível em: <https://www.stamaria.ind.br/>)

O descarte ocorre por meio do corte da máquina finalizadora antes do processo final de embalagem. Estas esponjas descartadas (Figura 3) no mês acumulam um total de 4000Kg. A parte amarela, de poliuretano, ainda é possível ser vendida para enchimento de colchões ou travesseiros, mas para a utilização desses resíduos de esponjas é necessária retirar a parte verde que é constituída de fibra abrasiva, pois este material causa alergias, dermatites de contato e coceiras devido a carga mineral, além da questão ambiental. Assim, é necessário a realização de uma etapa adicional no processo para separar esta fibra, onerando os custos da indústria.

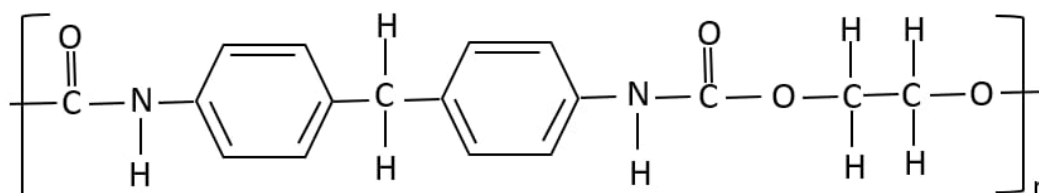
Figura 3: Resíduos das esponjas de PU e fibra abrasiva



Fonte: Indústria Santa Maria Ltda (2022)

O poliuretano (PU) é um polímero formado por unidades orgânicas unidas por ligações uretânicas, formando cadeias (estrutura química na Figura 4). É produzido pela reação de poliadição de um isocianato e um poliálcool, é amplamente utilizado em vários setores da indústria (SILVEIRA et al., 2007; YOUSSEF et al., 2007). “Sua estrutura pode ser celular (espumas flexíveis, semirrígidas e rígidas, e elastômeros microcelulares) ou sólida (elastômeros, revestimentos, selantes, adesivos, etc)” (PURCOM, 2019).

Figura 4: Fórmula Estrutural de um Poliuretano (PU)



Fonte: Kenoma e Piotrowska (2020)

Devido à alta versatilidade do poliuretano e por ser o principal componente de produtos de alto consumo como colchões e geladeiras, o volume de resíduo de PU gerado é cada vez maior, demandando processos eficientes de reciclagem. No caso de poliuretanos usados em espumas rígidas e flexíveis, a estrutura da cadeia polimérica contém ligações cruzadas, atribuindo um caráter termo fixo (ou termorrígido), o que torna sua reciclagem um processo ainda mais complexo (MOTTA, 2011).

A parte verde da esponja contém a fibra com material abrasivo que é revestido por uma carga mineral, que são substâncias inorgânicas compostas

por grãos muito pouco flexíveis que são incorporados à massa do polímero (Rothon, 1995). Esta fibra é rica em compostos de alumínio, apresentando concentração maior que 70%. Em menores proporções há a presença de composto com titânio (12,33%), silício (4,04%), cálcio (2,99%), ferro (2,51%), zircônio (2,00%) e outros em proporções menores (DACAL, 2017). Toda esta carga mineral é para dar abrasão aumentando sua resistência, dureza e atrito na sua utilização, porém poluem o meio ambiente.

Apesar de inúmeras vantagens, estas fibras sintéticas apresentam alguns inconvenientes quanto ao seu manuseio e processamento. Estas fibras podem causar problemas de saúde dos trabalhadores como irritações na pele e no sistema respiratório durante o manuseio. Ainda as fibras sintéticas são abrasivas, produzindo desgaste nos equipamentos durante o processamento. Estes dois fatores são os principais responsáveis pelo relativo elevado custo de produção destas fibras, visto que são necessários investimentos em acessórios e treinamentos de segurança, assim como frequente manutenção dos equipamentos usados.

Como seria a decomposição desse material na natureza? Quais consequências a longo prazo em decorrência do seu descarte? Como deve ser descartado? Esse material pode ser submetido ao processo de incineração?

Em 2020, Kenoma e Piotrowska desenvolveram um estudo sobre a reciclagem e descarte do PU. A Tabela 2 resume os métodos de tratamento com os resíduos bem como seu impacto no meio ambiente desenvolvidos e discutidos neste estudo. Ainda, segundo os autores, o aterro ainda é o fim mais comum destes resíduos de PU. Além da grande quantidade de espumas, outro problema é o volume de ar contido dentro das células das espumas de PU, fornecendo oxigênio para incêndios profundos além da fumaça tóxica que ele gera. A exposição a estes gases pode causar danos à pele, olhos e irritação do sistema respiratório, podendo desenvolver asma química (GARRIDO et al., 2017).

Tabela 2: Métodos de reciclagem e degradação das esponjas de PU

	Aplicação em grande escala	Possibilidade de recuperação	Impacto no meio ambiente
Aterro	Sim	Não	Alto uso da terra Possibilidade de incêndio Acumulação no ambiente Pode ser aplicado para resíduos pós consumo
Reciclagem Mecânica	Sim	Não	Aplicado apenas aos resíduos pós-produção Alguns dos processos exigem alta temperatura
Reciclagem Química	Somente glicólise	Sim	Exige altas temperaturas e pressão Solventes orgânicos, catalisadores e outros produtos químicos perigosos Pode ser aplicado para resíduos pós-consumo
Incineração	Sim	Não	Liberação de gases tóxicos As cinzas precisam ser aterradas Pode ser aplicado para resíduos pós-consumo
Degradação biológica	Não	Sim	Possibilidade de liberação de compostos tóxicos Pode ser aplicado para resíduos pós consumo Pode levar a mineralização completa dos resíduos Pode ser aplicado em aterros já existentes

Fonte: Adaptado de Kenoma e Piotrowska (2020)

Em 2019, Magnin et al. desenvolveram um estudo sobre a degradação biológica de poliuretanos através de fungos no intuito de estabelecer as bases para uma solução eficaz e verde para aliviar o fardo da poluição dos resíduos de poliuretano.

A gestão de resíduos poluentes, como aterros sanitários, não é uma solução adequada para estes resíduos. Faz-se necessária uma economia circular para o material plástico (MAGNIN et al., 2019). Os resíduos à base de PU não são polímeros biodegradáveis (WIERCKX et al., 2018) e não atendem aos requisitos das normas EN13423, EM 14995, ASTM D6400 e ABNT 15.448.

No estudo de Neres (2014) sobre a caracterização comparativa do comportamento de degradação e/ou decomposição da esponja sintética dupla face analisando o comportamento térmico das amostras das esponjas, tanto da parte verde como da parte amarela o tempo necessário para diminuir a percentagem de decomposição térmica é muito longo, evidenciando que amostras deste tipo de material não devem ser descartados na natureza sem critério. Amostras de esponja foram caracterizadas por análise térmica (TG/DTG, DTA e DSC) empregando atmosfera dinâmica de ar e de N₂. A Tabela 3 mostra o tempo necessário para decomposição de 100% da parte amarela e 50% para a amostra da parte verde, evidenciando que em ambas as amostras o tempo para decomposição total é muito longo.

Tabela 3: Tempo de decomposição (em anos)

Material	Atm	t à 25°C (anos)
Parte Amarela	ar	$2,6 \cdot 10^4$
Parte Amarela	N ₂	$4 \cdot 10^6$
Parte Verde	ar	$7 \cdot 10^{13}$

Fonte: Adaptada de Neres (2014)

3.3 Alternativas sustentáveis para os resíduos industriais:

A busca pela qualidade exigida no processo de globalização tem levado as indústrias a tentarem solucionar os problemas ambientais. A crescente preocupação da sociedade com o meio ambiente, em conjunto com a aprovação de leis ambientais mais rígidas, tem forçado a indústria, principalmente a automobilística e a de embalagens, a procurar novas fontes e matérias-primas que possam substituir os tradicionais compósitos poliméricos reforçados com fibras sintéticas (GEORGOPOULOS et al., 2005; ESPERT et al., 2004).

Assim, mais alto valor agregado e soluções sustentáveis para resíduos industriais são urgentemente necessários (MAGNIN et al., 2018). O processamento de resíduos industriais ganhou importância em todo mundo,

devido ao esgotamento das reservas mundiais de combustíveis fósseis, como o petróleo, e a diminuição de espaço para aterros sanitários (Plastics Europe Association of Plastics, 2019).

Em 2009, Almeida utilizou resíduos de carepa de aço na produção de blocos de concreto em substituição parcial dos agregados presentes na composição inicial. Esse resíduo é proveniente de indústrias siderúrgicas, que muitas vezes se tornava um inconveniente para as mesmas, por não possuir uma estocagem adequada, bem como uma destinação correta para esse tipo de resíduo. A partir dos resultados obtidos, verificou-se que os blocos de concreto com carepa de aço tiveram melhor desempenho quanto a resistência compressão em todas as idades ensaiadas, em relação aos blocos convencionais. Verificou-se uma resistência de 6,1 MPa superando a NBR 12118 (2006) que determina para essa classe de blocos como sendo de 4,5 MPa. Ainda conforme autor, o maior benefício que a pesquisa proporcionou em relação ao meio ambiente foi a questão da economia de recursos naturais, que são usados na fabricação dos blocos convencionais podendo chegar até uma economia de pedriscos/ano de aproximadamente 10,9 mil toneladas.

Bravo (2014) inseriu resíduos de borrachas de pneus usados na produção de blocos de concreto. Foram produzidos traços de concreto sem resíduo (referência), com 9,2%, 18% e 26,8% de resíduo em substituição do agregado miúdo em blocos de concreto 14 cm x 19 cm x 29 cm, os quais foram ensaiados visando a determinação da resistência a compressão simples. Verificou que para todos os traços produzidos apresentaram resistências características à compressão que atendem as especificações da norma NBR 6236:2007. Já para os ensaios de absorção de água, constatou-se que os valores obtidos no traço referência e nos traços com resíduo, não apresentavam diferenças significativas atendendo assim as normas. O autor constatou os blocos de concreto com resíduos de borracha eram viáveis.

Conforme Mattar & Vianna (2012) o uso de plásticos inservíveis de indústria em blocos de concreto permite a continuidade do uso destes plásticos de forma nobre. Neste estudo foram utilizados plásticos irrecuperáveis, oriundos das máquinas injetoras e/ou extrusoras, borras, galhos ou peças plásticas, que foram adicionadas na massa do bloco de concreto, após moagem. Teve como objetivo central analisar a viabilidade técnica da utilização dos resíduos

poliméricos de indústrias do segmento de plástico na produção de blocos de concreto. As etapas envolvidas foram as seguintes: moagem, homogeneização, fabricação dos blocos, análise dimensional, verificação superficial, absorção de água, resistência a compressão e lixiviação. Utilizou-se cimento água, areia, pó de pedra, brita e o resíduo de plástico variando na inclusão de 0 a 25%. Realizados os testes de compressão, concluíram a aprovação dos tijolos com 5% de plástico, os quais não apresentaram qualquer problema na estrutura e tiveram em média resistência de 3,77 MPa, superando o requisito da norma NBR 6136/07 de 3MPa. Mostrando ser uma alternativa viável para aqueles resíduos irre recuperáveis até então.

Dombe et al. (2020) publicaram um trabalho sobre o uso de lixo eletrônico (e-waste) e resíduos plásticos na construção de estradas. O uso desses materiais como substitutos dos materiais convencionais na construção civil não pode só ajudar diminuindo o custo de fabricação de um item específico, mas também ajuda a economizar o custo de aterros e economizar os recursos naturais. Os autores fizeram a substituição de betume, um resíduo refinado que vem da destilação do petróleo cru (NBR16208), por resíduos plásticos triturados (2 mm a 4,75 mm), misturados com agregados em mistura quente (160°C a 165°C) nas proporções de 4,5% a 6%. Os moldes foram preenchidos com mistura betuminosa e 75 golpes foram dados para finalizar o espécime. Testes de estabilidade Marshal foram realizados para simular as condições reais de campo, encontrando a adição ideal de 5% por peso do betume por resíduos plásticos ajuda a melhorar substancialmente a estabilidade, força e vida de fadiga. Segundo os autores, o plástico aumenta o ponto de fusão e faz com que a estrada mantenha sua flexibilidade durante os invernos. Conforme Dombe et al. “podemos concluir em geral que é um processo simples, ajuda a economizar custos de betume, melhora o desempenho das estradas, resolve o problema de descarte de resíduos plásticos e é um investimento a longo prazo para a máquina de trituração que pode ser reutilizada”.

3.3.1 Alternativas sustentáveis para os resíduos industriais de Poliuretano (PU):

Gomez-Rojo et al., 2019, com o objetivo de melhorar o uso das espumas de PU e ampliando o uso nas indústrias que geram este tipo de resíduo,

analisaram vários tipos de espumas de PU: resíduos de geladeiras, estofados de carros e sua reutilização em materiais de construção eco eficientes, mais precisamente na produção de gesso. Na proporção de (1/1,5), ou seja, uma parte de gesso para 1,5 partes de resíduo de PU obtiveram resultados bons para todos os tipos de espumas. Nas palavras dos autores “Em todos os casos, a resistência mecânica obtida atendeu aos requisitos descritos nos regulamentos com mais de 2MPa de resistência à compressão e mais de 1MPa de resistência à flexão”. Outra observação interessante foi em relação ao tamanho das partículas: “Os resíduos com tamanhos de partículas menores dão os melhores resultados nas propriedades mecânicas das misturas”.

Sari et al (2015) utilizou resíduos de PU a base palma para desenvolvimento de concreto leve. A alternativa usada foi o PU à base de poliol de óleo de palmiste como carga. O agregado de PU na mistura do concreto foi adicionado de 1 a 5% para obter concreto. Testes de compressão foram feitos com 7, 14 e 28 dias de cura e os resultados descobriram uma proporção ideal com carga de PU de 3% (p/p) atingindo a resistência de compressão de 11,3 a 17,5 MPa, verificando que quanto maior o tempo de cura maior era a resistência. Após 28 dias aumentava em 35% a força de exposição, atingindo os valores acima da referência, que neste estudo foi a NBR NM 35. Ou seja, o tempo de cura e o processo de moagem dos resíduos em partículas menores se mostram muito importantes no processo dos blocos de concreto produzido com uma porcentagem de resíduos de PU. Esta alternativa se mostra sustentável e viável economicamente o que agrega valor aos resíduos.

Em relação ao comportamento térmico destes blocos de concreto com resíduos de PU, um outro estudo de 2019 foi sobre a incorporação de resíduos de poliuretano para melhoria do isolamento térmico de blocos de concreto. Neste estudo experimental, os autores desenvolveram um bloco a partir de resíduos de esponjas de refrigeradores no objetivo de substituir um agregado que era usado na produção de blocos de concreto naquele país, as Ilhas Canárias. A substituição foi do agregado miúdo, uma rocha muito usada no país chamado de lapilli, extraído geologicamente causando uma degradação paisagística e danos ambientais. Os resultados foram muito satisfatórios, mostrando que a inclusão dos resíduos de PU melhoram entre 38% e 64% o comportamento térmico do concreto. Neste estudo fizeram a substituição parcial de lapilli por 25% de PU o

que aumentou o isolamento térmico em até 38% em relação ao concreto com 100% de lapilli, mesmo diminuindo entre 12% e 57% a resistência à flexão e a resistência a compressão, pois os blocos podem ser usados sem função estrutural, apenas para vedação (DIAZ et al., 2019).

Análises dinâmicas para estimar a capacidade de amortecimento da propagação de ondas em uma parede feita com bloco misto de concreto e poliuretano, mostraram que a onda mecânica pode ser reduzida. A redução de energia transferida se encaixa na faixa de 14 a 76% (MAJOR et al., 2017). Devido a inclusão do poliuretano o amortecimento da onda ficou evidente.

Vários estudos têm pesquisado a opção de reaproveitamento de resíduos de espuma de poliuretano como agregado seco em diferentes matrizes de cimento e gesso (ROJO et al., 2019). Estudos com argamassas de cimento e PU mostraram que existe uma influência positiva desses agregados em sua fabricação, o que garante excelente durabilidade e em substituição a matéria prima inicial como areia, pedriscos e outros no caso do concreto. A Tabela 4 compila os trabalhos mencionados e que embasam a estrutura de aplicação dos resíduos de PU e sua aplicação/agregação na ciência da construção civil.

Tabela 4: Trabalhos com Resíduos de PU

	Aplicação dos Resíduos de PU	Tipos de Análises	Contribuição
Gomez-Rojo (2019)	Gesso	Resistência à compressão	Na proporção de 1/1,5 o gesso ficou mais resistente A granulometria influencia na mistura
Sari et al (2015)	Concreto	Resistência à compressão	O tempo de cura é importante para os testes de resistência à compressão A proporção ideal de inclusão de PU foi em 3% (p/p)
Diaz et al. (2019)	Blocos de concreto	Resistência à compressão e compressão; Isolamento térmico	A inclusão de PU melhoram o isolamento térmico Blocos com diminuição na resistência podem ser usados sem função estrutural
Major et al. (2017)	Blocos de concreto	Amortecimento de propagação de ondas	Na questão de explosões e na propagação do som, tornando o bloco sustentável e acústico

Fonte: Gomez-Rojo (2019); Sari et al. (2015); Diaz et al. (2019); Major et al. (2017)

3.4. O Bloco de concreto como alternativa para os resíduos:

Atualmente, os blocos de concreto se apresentam como uma ótima solução construtiva, trazendo benefícios a estética final da obra e para sua execução, como redução de formas e de mão de obra, redução da espessura na regularização de paredes para receber os revestimentos, redução de desperdícios e entulho na obra, eliminação dos rasgos para embutir tubulações, além de promover rapidez no processo executivo (BRAVO, 2014).

O concreto é um material composto que consiste essencialmente de um meio aglomerante, dentro do qual estão mergulhados partículas ou fragmentos de agregados (MEHTA; MONTEIRO, 2008). No estado endurecido, a pasta aglutina aos agregados, gerando um sistema com certa impermeabilidade, resistência aos esforços mecânicos e durabilidade. Sua descoberta no fim do século XIX e seu intensivo uso o século XX, que o transformaram no material mais consumido pelo homem depois da água, revolucionaram a arte de projetar

e construir estruturas cuja evolução sempre esteve associada ao desenvolvimento das civilizações ao longo da história.

Um material atual é de vital importância para a economia e o negócio da construção, o chamado “construbusiness”; um material fundamental para a arquitetura moderna, um material rico e versátil para escrever a história contemporânea através de monumentos originais e duráveis; e principalmente um material fundamental para o desenvolvimento da ciência aplicada, da engenharia e da qualidade de vida de um povo, o suficiente e indispensável para estar entre os prioritários investimentos tanto nas grandes e/ou pequenas nações (HELENE; ANDRADE, 2010).

No Brasil, o início da utilização dos blocos de concreto foi com a construção das usinas de Jupiá e Ilha Solteira, em São Paulo, pela Camargo Corrêa, na década de 1960 onde a empresa importou máquinas especiais da marca Besser, norte americana, para a fabricação dos blocos de concreto utilizados na construção da cidade de Ilha Solteira, que hoje é um centro de excelência na pesquisa de alvenaria estrutural (TAUIL, 2005).

Nas décadas de 60 e 70 houve um grande avanço no estudo e utilização da alvenaria estrutural, o bloco de concreto, como o ano de 1966, conforme Mohamad et al (2010) foi o marco inicial no emprego do bloco de concreto no Brasil com a construção do Conjunto Habitacional Central Park Lapa na cidade de São Paulo. A obra foi construída com blocos de 19 cm de espessura. Mais tarde em 1972 foi construído no mesmo conjunto habitacional mais 4 prédios de 12 pavimentos em alvenaria armada e assim por diante. Na década seguinte aumentaram-se os estudos surgindo o processo Poli Encol, que propôs um processo de construção, com destaque na adoção de blocos com modulação de 15 cm além do uso de ferramentas e equipamentos próprios para alvenaria estrutural. Algumas soluções representaram um grande avanço para o processo em todo o Brasil (MOHAMAD et al., 2010).

Conforme ABNT NBR 6136/2016 o bloco vazado de concreto simples (Figura 5) define-se como um componente para execução de alvenaria, com ou sem função estrutural, vazado nas faces superior e inferior, cuja área líquida é igual ou inferior a 75% da área bruta.

Figura 5: Bloco de concreto



Fonte: do próprio autor. Foto tirada na empresa Construínas Materiais para Construção Ltda

Com grande aceitação no mercado devido as várias formas e cores (FKCT, 2008) suas dimensões nominais seguem as normas NBR 6136/2016 conforme Tabela 5; com tolerância de variação de 2 mm para largura e 3 mm para largura e comprimento. A norma brasileira estabelece a classificação dos blocos de concreto tomando como base a largura, como M-10, M-15 e M-20, referindo-se às larguras dos blocos fabricados no mercado que utilizam 9,14 e 19 cm respectivamente (ALMEIDA, 2009).

Tabela 5: Dimensões dos blocos

Classe	Largura (mm)	Altura (mm)	Comprimento (mm)
M-20	190	190	390
	190	190	190
M-15	140	190	390
	140	190	190
M-10	90	190	390
	90	190	190

Fonte: ABNT NBR 6136 (2016)

Os blocos de concreto para vedação devem ser utilizados somente para a alvenaria de vedação, como paredes e muros. Eles possuem baixa resistência entre 2 e 3 MPa (Tabela 6). Já os blocos de concreto estruturais são utilizados no sistema de alvenaria estrutural, onde as paredes são responsáveis por suportar o peso da edificação. Neste caso a resistência deve ser superior 4MPa, mais especificamente entre 4 e 8MPa conforme NBR 6136/2016.

Tabela 6: Requisitos para resistência característica à compressão

Tipos dos blocos	Resistência característica à compressão (MPa) (28 dias de cura)
Com função estrutural	$4 \leq f_{bk} \leq 8$
Sem função estrutural	$2 \leq f_{bk} \leq 3$

Fonte: adaptado de NBR 6136 (2016)

3.4.1 Fabricação do Bloco de concreto:

Segundo Medeiros (1993), os principais componentes aplicados na fabricação de blocos de concreto são cinco:

- Agregado graúdo: pedra britada (pedrisco) e pedregulho natural;
- Agregado miúdo: areia natural e areia artificial
- Aglomerantes: cimento Portland
- Aditivos: plastificantes
- Água

Os materiais constituintes dos blocos de concreto devem ser especificados e utilizados conforme suas propriedades, para que o produto final esteja em conformidade com as metas projetadas (SALVADOR, 2007).

De acordo com a ABNT NBR 9935:2011 aplicam-se os seguintes termos:

Pedra britada ou brita: agregado graúdo originado da fragmentação mecânica de rocha;

Areia: agregado miúdo originado através de processos naturais ou artificiais de desintegração de rochas, ou proveniente de processos industriais.

Aglomerantes: cimento Portland conforme ABNT NBR 5732. O cimento possibilita uma rápida desforma e isto propicia uma maior agilidade ao processo de produção.

A palavra cimento é originada do latim CAMENTU, que designava na velha Roma espécie de pedra natural de rochedos. A origem do cimento remonta há cerca de 4500 anos. Os imponentes monumentos do Egito antigo já usavam uma liga constituída por uma mistura de gesso calcinado. Neste mesmo sentido, o inglês John Smeaton conseguiu obter o produto com alta resistência por meio de calcinação de calcários moles e argilosos. Em 1818, o francês Vict obteve

resultados semelhantes e foi considerado o inventor do cimento artificial. Mais tarde, em 1824 o inglês Joseh Aspdin queimou conjuntamente pedras calcárias e argila, transformando-as num pó fino. Percebeu que obtinha uma mistura que, após secar, tornava-se tão dura quanto as pedras empregadas nas construções (Figura 6). Essa mistura não se dissolvia em água e foi patenteada pelo construtor, com o nome de cimento Portland graças à semelhança com as rochas da ilha britânica de Portland (Associação Brasileira de Cimento Portland).

Figura 6: Cimento Portland



Fonte: Cimento Itambé (2022) (Disponível em www.cimentoitambe.com.br)

Aditivos: é permitido o uso de aditivos, de acordo com a NBR 11768, adições ou pigmentos desde que o produto atenda aos requisitos físico-mecânico da norma NBR 6136. Alguns fabricantes utilizam aditivos plastificantes para reduzir o fator água/cimento e facilitar a moldagem dos blocos e a limpeza das partes da máquina que entram em contato com o concreto, com isso proporcionando um aumento de produtividade

Água: a água de amassamento deve atender aos requisitos da norma NBR15900-1.

No Brasil, existem desde pequenas empresas até a usinas de grande porte, com equipamentos com processo automático e alta produtividade diária de blocos de concreto que funcionam apenas com betoneira e uma vibro-prensa manual. Os materiais e processos são basicamente os mesmos nas diversas fábricas, porém, o que diverge é a qualidade do produto.

Os blocos são fabricados conforme as seguintes etapas:

- Inspeção e recebimento da matéria-prima (cimento e agregados);
- Estocagem da matéria-prima;
- Dosagem dos materiais;

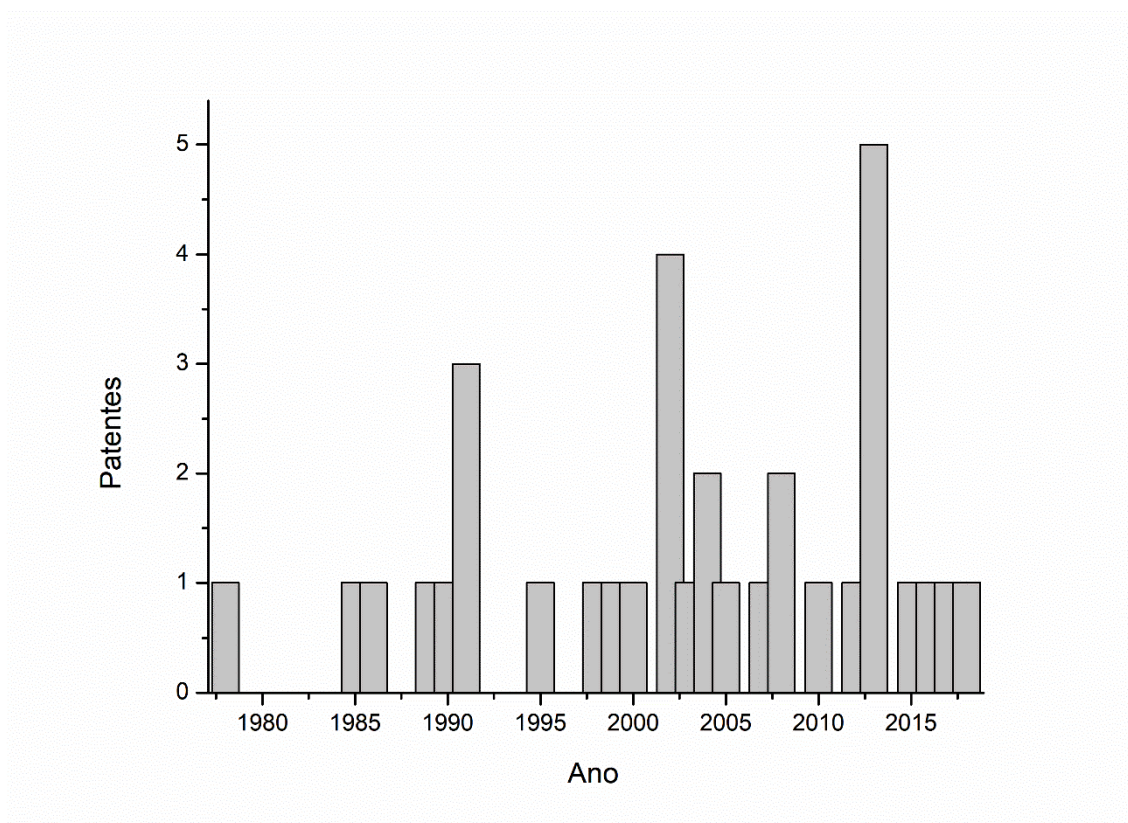
- Produção do concreto;
- Moldagem dos blocos;
- Estocagem em pallets;

3.5 Potencial de Inovação:

Neste presente projeto pretendemos inserir os resíduos industriais das esponjas de poliuretano e fibra abrasiva na produção de blocos de concreto. Resíduos de PU, como dito anteriormente, se mostram muito eficazes sua inclusão em blocos de concreto, e ainda no caso da amostra da parte verde das esponjas, em se tratando de resíduo inorgânico, esse pode ser reaproveitado como carga, para obtenção da mesma fibra ou produção de outro material, que é o escopo deste projeto (NERES, 2014).

Atualmente no Brasil existe um Programa Nacional de Reciclagem de Esponjas Scotch-Brite (<https://www.terracycle.com/pt-BR/brigades/brigada-de-esponjas-scotch-brite>) vinculado a empresa TerraCycle para reciclagem destas esponjas de uso doméstico, após o uso. É um programa voltado a toda comunidade e gratuito, porém além de não atingir as indústrias, não alcança toda a população que consome muito este tipo de esponja no seu dia a dia.

Em recente pesquisa, na base de dados The Lens (<https://www.lens.org/>) verificou-se que o presente projeto pode ser uma patente de processo, pois não se tem muitos trabalhos nesta vertente, tornando-o com um viés inédito. Na busca por patentes com os termos “polyurethane wates on concrete”, verifica-se no Gráfico 1 uma crescente nas publicações em resíduos, devido a grande preocupação com as questões ambientais, como dito anteriormente.

Gráfico 1: Publicações ao longo do tempo

Fonte: The Lens (2022) (Disponível em <https://www.lens.org/>)

O presente projeto visa a utilização destes resíduos bem como agregar valor a ele, desenvolvendo um produto altamente aplicável no mercado de construção civil. Um bloco de concreto mais leve, resistente, rentável e com caráter social, podendo ser utilizado em obras de projetos sociais em construções sustentáveis para pessoas de baixa renda.

4 Materiais e Métodos

4.1 Caracterização dos materiais

Os materiais utilizados para realização deste trabalho foram cimento de cura rápida, agregado miúdo, agregado graúdo (pedrisco), água e resíduo das esponjas de poliuretano e fibra abrasiva – PU moído (Figura 7).

Figura 7: Materiais utilizados



Fonte: do próprio autor

4.1.1 Cimento

O cimento utilizado foi o CPV – ARI RS (Cimento Holcim Ultra Rápido). Este é um cimento possibilita uma rápida desforma e isto propicia uma maior agilidade e economia ao processo de produção. Supera os valores mínimos normatizados pela NBR 5733 e NBR 5737 (BRAVO, 2014).

4.1. 2 Pedrisco

Foi utilizado pedra britada ou pedrisco de origem basáltica, proveniente da Empresa Areia VRG - Mineração Areia Vale do Rio Grande localizada na cidade de Igarapava-MG. Conforme ABNT NBR 7211 foi utilizado a granulação em média entre 0,5 e 1 cm (BRAVO, 2014).

4.1. 3 Areia Fina e Média

Como agregado miúdo foi utilizado areia da Empresa Areia VRG - Mineração Areia Vale do Rio Grande, localizada na cidade de Igarapava-SP. Apresenta grãos com dimensão abaixo de 1,0 mm e módulo de finura entre 1,5 e 2,0 (<http://areiavrg.com.br/produtos.html>).

4.1. 4 Água

Utilizou-se água potável proveniente do sistema de abastecimento de água de Jiquara-SP (<https://goo.gl/maps/7aShnoHRDN93KwPw9>).

4.1. 5 Resíduos de esponja de poliuretano e fibra abrasiva

Os resíduos de esponja de poliuretano e fibra abrasiva foram fornecidos pela Indústria Santa Maria Ltda, localizado na cidade de Ituverava-SP (<https://goo.gl/maps/dx3pqLSxPUuHUy4o6>). A composição granulométrica seguiu as normas da ABNT NBR NM 248 para agregados desta natureza (KENOMA; PIOTROWSKA, 2020).

4.2 Métodos

4.2.1 Trituração dos resíduos – Obtenção do PU moído

A trituração dos resíduos de PU é de suma importância para seguimento deste trabalho. O método mais comum é com moinho de facas que consiste na granulação das partículas (SANTOS, 2019; YANG et al., 2012).

Marques e Celso (2020) publicaram um artigo sobre o estudo da viabilidade técnica do processamento de resíduos de espuma de poliuretano por um moinho de facas onde compilaram as formas de trituração na Tabela 7.

Tabela 7: Autores, tipos de espuma, reciclagem e equipamentos utilizados

Autores	Tipo de espuma	Tipo de reciclagem	Equipamento
FERNANDES, 2013	Flexível	Mecânica	Aglutinador
BECKER, 2002	Rígida	Mecânica	Moinho analítico
ROSA et al., 2003	Elastômero	Mecânica	Moinho
FÓRUM INTERNACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS, 2016	Rígida	Mecânica	Moinho de duplo rolo
PAGLICAWAN et al., 2007	Rígida	Mecânica	Moagem criogênica
VIEIRA et al., 2018	Não informa	Mecânica	Esmeril
PINTO et al., 2017	Rígida	Mecânica	Moinho

Fonte: Revista Tecnologia e Tendências (2020)

As várias formas de trituração mostram a larga utilização que se tem destes resíduos na indústria, onde cada forma de trituração fornece grânulos de tamanhos diversos (granulação) (MARQUEZ; CELSO, 2020). Vale salientar novamente que os resíduos das espumas de PU utilizadas neste trabalho possuem além do PU a parte verde, que contém metais, e pesquisando a literatura, não foram encontrados trabalhos publicados referente a trituração destes resíduos. Pela dificuldade de pesquisa e trabalhos nesta área, se fez necessário um trabalho experimental maior como relatado nas próximas seções.

4.2.2 Preparação dos corpos de prova

Os moldes cilíndricos para os corpos de prova (Figura 10a) seguiram a ABNT NBR 5738 com 10cm de diâmetro por 20cm de altura e feitos de material plástico Policloreto de Vinil – PVC. Foram confeccionados aberto na face superior e inferior e a lateral estanque, ou seja, fácil de desmoldar. Todo o processo dos moldes e corpos de prova foram preparados na cidade de Jiquara-SP, estado de São Paulo, na Empresa Construínas Materiais para Construção Ltda.

Inicialmente misturou-se areia fina e areia média com cimento até formar uma pasta homogênea (Figura 8). Posteriormente inclui-se o pedrisco para encorpar a massa.

Figura 8: Preparação da massa para corpo de prova



Fonte: próprio autor

Com o auxílio de uma bacia plástica para fazer a mistura iniciou-se a inclusão dos materiais, um a um, conforme proporção (Tabela 8), adotando para o traço do bloco:

- C0 para o bloco padrão com 0% de PU moído
- C1 para inclusão de 5% de PU moído
- C2 para 10% de PU moído
- C3 para 20% de PU moído

Tabela 8: Corpos de prova (% em volume do corpo)

Corpo de Prova	Areia Fina (%)	Areia Média (%)	Cimento (%)	Água (%)	Pedrisco (%)	PU moído (%)
C0	10	40	10	10	30	0
C1	10	40	10	10	30	5
C2	10	40	10	10	30	10
C3	10	40	10	10	30	20

Fonte: próprio autor

Toda a mistura da massa foi feita com o auxílio de uma espátula (Figura 9) para deixar a composição homogênea e inclusão nos moldes nas medidas 10cm x 20cm, conforme norma ABNT NBR 5738.

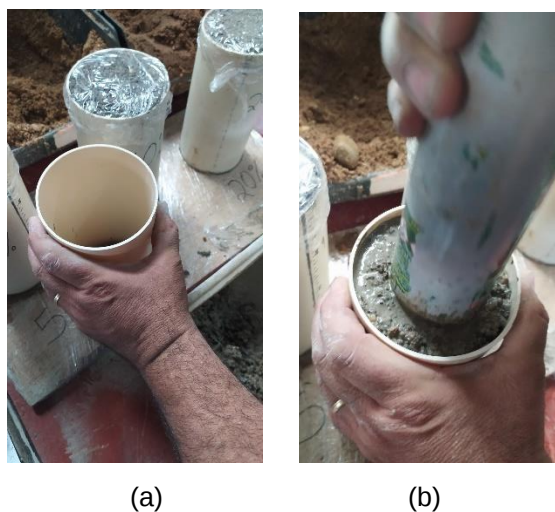
Figura 9: Auxílio de uma espátula para fazer mistura



Fonte: próprio autor

A confecção dos corpos de prova necessitou de uma haste metálica adensamento manual na massa e não deixar espaço vazio (Figura 10b). Conforme ABNT NBR 5738 são necessários 12 adensamentos manuais entre duas camadas da massa inseridas no molde. Para finalização utilizou-se plástico filme para isolar o corpo de prova do ar.

Figura 10: Preparação dos corpos de prova



(a): Molde do corpo de prova (b): adensamento da massa por uma haste

Fonte: do próprio autor

Após a confecção do corpo de prova inicial com 0% de PU moído, iniciou-se a produção dos outros corpos de prova com C1, C2 e C3 de resíduo das esponjas (Figura 11). Conforme norma ABNT NBR 5738 produziu-se inicialmente uma monoplicata com o caráter exploratório, com um corpo de prova para cada tipo neste primeiro ensaio, e posteriormente 5 corpos de cada tipo para o segundo teste de compressão.

Figura 11: Corpos de prova



Fonte: do próprio autor

Param o primeiro ensaio, os corpos de prova ficaram um tempo de 90 dias de cura e para o segundo ensaio, os corpos de prova seguiram para tempo de cura de 28 dias para que posteriormente fossem testados, tabelados e plotados os resultados.

4.3 Caracterização físico-química e mecânica dos blocos de concreto

4.3.1 Espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR)

As interações químicas presentes em cada material de partida e do bloco de concreto foram avaliadas pela técnica de espectroscopia no infravermelho em um espectrômetro TENSOR 27 fabricado pela BRUKER localizado no Grupo de Bioengenharia e Biomateriais da FCF/UNESP. A técnica permite identificar os grupos funcionais (aminas, amidas, álcoois, fenóis, entre outros) presente no bloco de concreto. O equipamento opera mediante a técnica de transformada de Fourier com o método de ATR, fonte: Laser de He-Ne (emite radiação na região do infravermelho médio); Detector: DLaTGS). Os espectros foram registrados com absorção na região compreendida entre 4000 e 400 cm^{-1} , com resolução de 4 cm^{-1} e 32 varreduras a temperatura ambiente (GARMS et al., 2019; CANNAN et al., 2022).

4.3.2. Ensaio mecânico de compressão

O ensaio de compressão foi realizado no laboratório de Engenharia Mecânica da Fundação Educacional de Ituverava, localizada no município de Ituverava (<https://goo.gl/maps/WUDba2jPUF3qH55M8>) utilizando uma prensa da marca Pavitest CONTENCO I.3001.C 1478 100T, na qual uma carga constante de 2000 kgf foi aplicada sobre os blocos de concreto em uma velocidade de 500 mm/min e a temperatura de 25°C. Os resultados foram analisados por meio do software TESC versão 3.01 que acompanha o equipamento e gera curvas de resposta (Tensão vs deformação) de cada corpo de prova (MARCATTO et al.; 2021). As dimensões das amostras foram 200 mm de altura e 100 mm de largura, respectivamente (COSTABEBER et al., 2021).

4.5. Análise de imagens no Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV)

Amostras de concreto foram analisadas no MEV com a finalidade de observar a microestrutura de cada traço, e consistiam em concreto retirados dos corpos de prova submetidos ao ensaio de compressão.

O ensaio foi realizado no Instituto de Química da Unesp de Araraquara em um equipamento de duplo feixe da marca FEI, modelo Helios NanoLab 600I, com as seguintes condições de análise: 10,0 KeV e aumentos de 100 a 10000 vezes. As amostras enviadas foram obtidas de fragmentos de tamanho aproximado de 6mm de aresta retirados da argamassa do concreto dos corpos de prova que foram submetidos ao ensaio de resistência a compressão.

Com a finalidade de remover a água livre e induzir a paralisação das reações de hidratação sem correr o risco de alterar a microestrutura do material, as amostras foram imersas em álcool etílico absoluto por 24h e secas em estufa a 60°C por período de 12 horas e posteriormente foram acondicionadas em recipiente hermeticamente fechado.

4.4 Análise Estatística

A estatística descritiva foi empregada para uma melhor compreensão dos dados, identificando tendências utilizando o software Microsoft Excel 2016 Student version. Para isso, a média e desvio padrão foram tendências observadas nesse trabalho (RIBEIRO, 2015).

5 Resultados e Discussão

5.1 Otimização da trituração dos resíduos das esponjas

Por serem compostos por poliuretano e fibra abrasiva a trituração das esponjas não foi algo simples, pois parte verde contém fibra abrasiva que não é triturada rapidamente. Além disso, essa fibra abrasiva é composta por componentes metálicos, sendo necessário uma pesquisa de campo e experimentos preliminares para se encontrar a granulação correta. Inicialmente, a trituração foi feita com moinhos de facas, que são empregados para trituração de mangueiras plásticas, entretanto os resultados obtidos não foram satisfatórios devido a granulação elevada, não sendo assim satisfatória para aplicação em concretos (Figura 12).

Figura 12: Esponja de Poliuretano e fibra triturada em moinho de facas



Fonte: do próprio autor

O melhor método foi a utilização de um cilindro para triturar borracha da marca Babinni - Misturador aberto para borracha semi compacto (Figura 13a). A trituração dos resíduos foi realizada na cidade de Franca na GM Indústria de Solados para Calçados Ltda. Para o processo de moagem, os resíduos que estavam no formato de tiras longas foram inseridas entres os cilindros, forçando-as através de dois rolos horizontais adjacentes pesados, de aço endurecido e contra rotativos e girando em velocidades ligeiramente diferentes (Figura 13b). Os rolos dos moinhos são ocos ou perfurados e podem ser aquecidos ou resfriados conforme a utilização. No caso desta moagem, os cilindros estavam

aquecidos, o que favoreceu a moagem dos resíduos, como se evidencia na Figura 14.

Figura 13: A) Cilindro duplo Babinni; B) Trituração dos resíduos de PU e fibra



Fonte: do próprio autor

Com dois motores de 32 cv cada e frequência de rotação de 70rpm obteve-se a granulação desejada com 1,6 mm conforme (Figura 14). Uma observação experimental foi a temperatura do cilindro que era de 120°C, pois a temperatura auxiliou na trituração da esponja e granulação esperada.

Figura 14: Granulação atingida na trituração feita no cilindro duplo



Fonte: do próprio autor

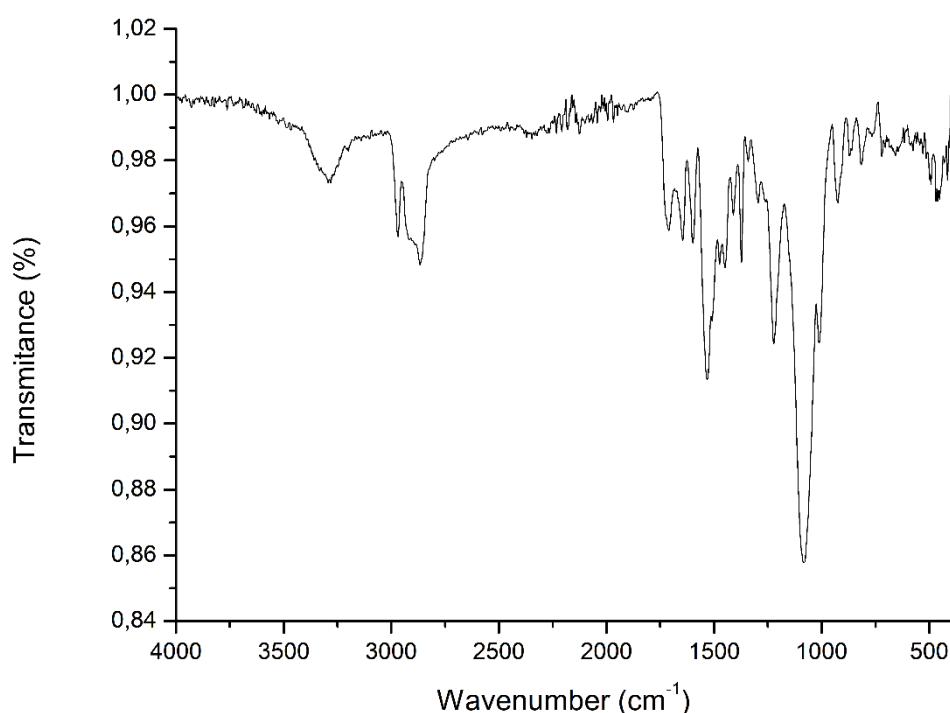
5.2 Caracterização físico-química e mecânica do bloco de concreto

5.2.1. Espectroscopia no infravermelho (FTIR) do PU e Fibra

Os espectros do PU com fibra estão ilustrados na Figura 15. Pode-se observar a banda característica do grupo amina NH em 3293 cm^{-1} (CARVALHO

et. al). A banda de absorção em 1709 cm^{-1} pode ser atribuída a grupos uretânicos ($-\text{C}=\text{O}$) e a banda 1600 cm^{-1} aos grupos aromáticos (SARI et al., 2015). A banda de absorção observada em 1080 cm^{-1} é devido a presença de grupos C-O. As bandas observadas no espectro entre 1500 e 500 cm^{-1} são de menor intensidade e menor resolução devido a presença de matriz inorgânica da parte verde da esponja de PU (NERES, 2014).

Figura 15: Espectro de FTIR dos resíduos de PU e fibra



Fonte: do próprio autor

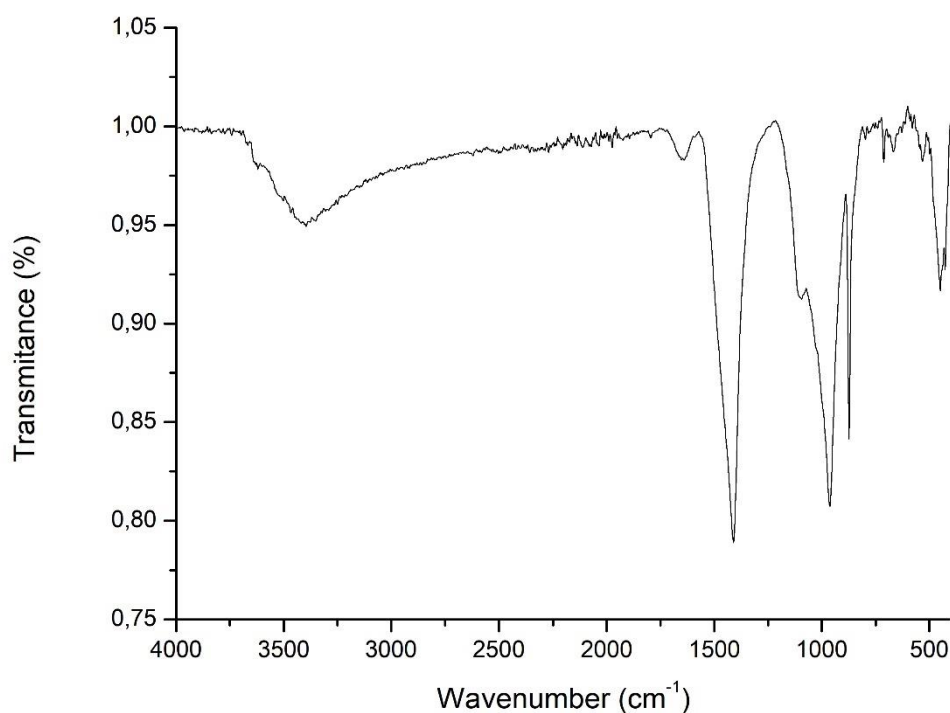
5.2.2. Espectroscopia no infravermelho (FTIR) do Concreto

Os espectros das amostras de concreto (Figura 16) apresentaram bandas em 3393 cm^{-1} e 1652 cm^{-1} caracterizadas como o estiramento e a vibração da ligação química H-O-H que são referentes à água constituinte, ou seja, que a amostra hidratou (PANZERA et al., 2010; RODRIGUES, 2013).

As bandas em 1410 cm^{-1} e em 873 cm^{-1} são caracterizadas pelo estiramento antissimétrico e a deformação angular C-O da calcita (BESSLER;

RODRIGUES, 2008). As bandas próximas a 451 cm^{-1} referem-se a vibrações características do aluminato de cálcio (C-AH) e alumino silicatos hidratados (A-S-H) (OLIVEIRA, 2007; ROMANO et al., 2016; ARAUJO et al., 2017).

Figura 16: Espectro de FTIR do Concreto

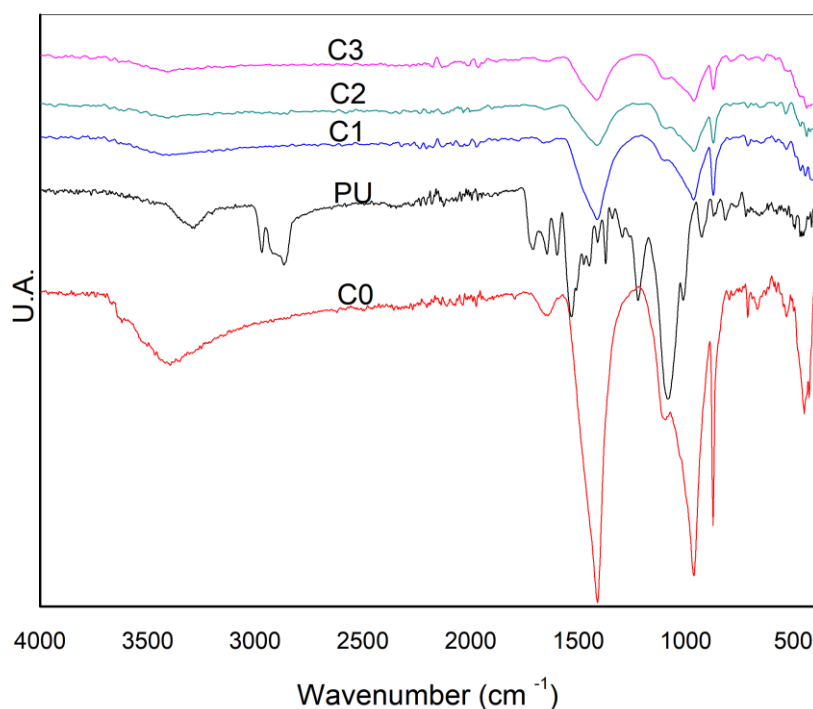


Fonte: do próprio autor

5.2.3. Espectroscopia no infravermelho (FTIR) do Concreto com PU-fibra:

Verifica-se na Figura 17 que as bandas vibracionais em 3400 e 1600 cm^{-1} mantiveram-se em todas as amostras, desde o PU puro até a incorporação com 20% da fibra, pois esta banda refere-se à hidratação. Outras bandas de absorção notadas são em 1400 cm^{-1} e 900 cm^{-1} , referente a deformação angular da calcita (BESSLER; RODRIGUES, 2008) que mantiveram transmitâncias próximas para o concreto puro e a amostra com 5%, porém, a partir de 10% tem-se uma mudança na transmitância destes picos. Na última banda de absorção da banda de 500 cm^{-1} houve um aumento da transmitância com a incorporação dos resíduos de PU.

Figura 17: Espectro de FTIR do bloco: C0: 0% PU e fibra; C1: 5% PU e fibra; C2: 10% PU e fibra; C3: 20% PU e fibra



Fonte: do próprio autor

Em um comparativo dos espectros do bloco de referência 0% com os outros verificou-se que as bandas repetiram, apenas com mudança nas transmitâncias de alguns números de onda, contribuindo com literatura onde com a inclusão de resíduos em concreto as composições químicas se espelham.

Siqueira et al, 2004 observou as mesmas bandas vibracionais no concreto incorporado com PU mostrando que não há interação química, mostrando que o PU está absorvido no concreto (ligação física) que pode ser visto pelo não surgimento de novas bandas de absorção após a incorporação do polímero

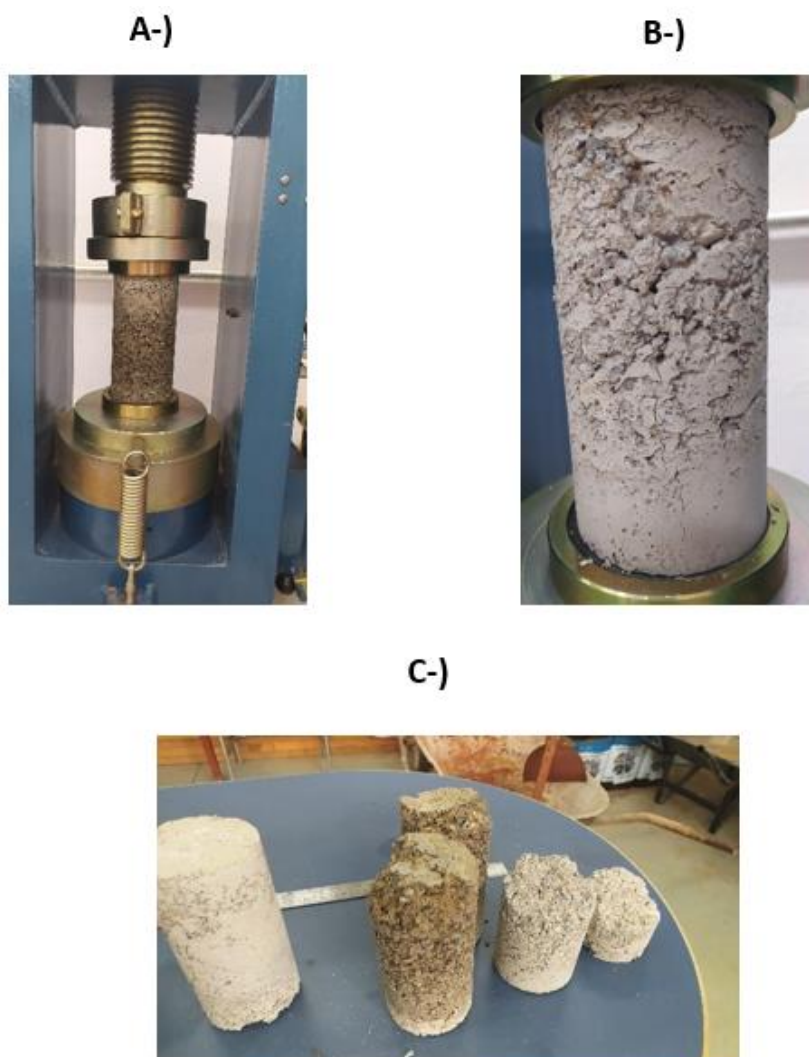
5.2.4. Primeiro Ensaio de Compressão a Ruptura (f_{bk})

Inicialmente com o caráter exploratório e com o objetivo de verificar a qualidade do concreto desenvolvido, foi realizado um ensaio (o primeiro) de resistência à compressão (Figura 18A) para cada modelo de corpo de prova C0, C1, C2 e C3. Conforme norma NBR 12 118, os corpos de prova foram avaliados

individualmente a velocidade constante de 500 mm/min até a ruptura. Ainda conforme esta norma, as rupturas dos corpos de prova são classificadas como (1) cônico cisalhado, (2) colunar e (3) cisalhada. Em todos os ensaios pode-se notar a ruptura do tipo (2) colunar como ilustrado na Figura 18B, demonstrando uma ruptura quase que vertical.

Além do mais, notou-se também que após a ruptura os corpos de prova ainda apresentavam uma certa conformidade estrutural, não se deformando por total, mesmo após ser retirado do sistema da prensa, como observado na Figura 18C. Em outros testes feitos com concretos comuns após os testes de compressão, os corpos de prova despedaçavam-se logo quando tirados da prensa, o que sugere que a inserção de esponja de PU no concreto aumenta o nível de tenacidade do bloco (LIMA, 2018).

Figura 18: Ensaio mecânico à compressão: A) Corpo na prensa; B) Ruptura; C) Corpos de prova após ensaio mecânico



Fonte: do próprio autor

A Tabela 9 apresenta a massa e a carga de ruptura para cada tipo dos corpos de prova. Verificou-se que 5% de PU moído (amostra C1) aumentou a carga de ruptura de 3,19 MPa para 4,76 MPa, ou seja, um aumento de 1,57 MPa que equivale a 49,21% da carga de referência. Entretanto, quando é colocado 10% de PU moído (amostra C2), a carga de ruptura é 1,40 MPa, ou seja, um valor 2,27 vezes menor que o concreto sem PU (amostra C0). Da mesma forma, o valor que a amostra C3 que teve um valor de ruptura de 2,1 vezes menor que a amostra C0. Esse resultado inicial mostra que novos blocos com até 5% de PU possuem propriedades superiores ao concreto convencional.

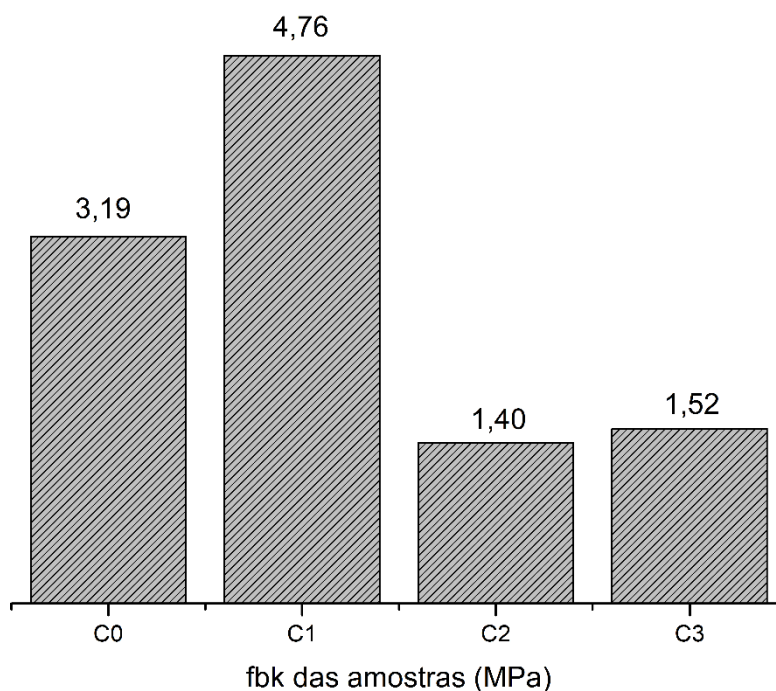
Tabela 9: Massas e cargas de ruptura

Amostra	Massa (kg)	Carga de Ruptura (MPa)
C0	2,95	3,19
C1	3,21	4,76
C2	2,84	1,40
C3	2,85	1,52

Fonte: do próprio autor

O Gráfico 2 mostra que a amostra C1 que utiliza a quantidade de 10% de areia de fina, 40% de areia média, 10% de cimento, 10% de água, 30% de pedrisco e 5% de PU moído apresentou a maior carga de ruptura. Fazendo uma análise crítica é possível inferir que até 5% desse resíduo é satisfatório para aumento das propriedades mecânicas, apesar que fosse interessante fazer blocos com 1%, 2%, 3% e 4%. Entretanto, como a proposta é agregar valor no resíduo, quanto mais resíduo utilizado no bloco de concreto melhor. Nesse sentido, é possível fazer uma outra análise, onde apesar da diminuição do valor carga por mais de 2 vezes para blocos produzidos com 10 e 20% de PU, esses valores poderão após alguns ajustes serem aceitáveis para serem utilizados como blocos de concreto para vedação, possuindo resistência de ~2 MPa, sendo empregados para paredes e muros, conforme a NBR 6136/2016.

Gráfico 2: Valores do teste de resistência à compressão para os corpos de prova C0, C1, C2 e C3.



Fonte: do próprio autor

Com o objetivo avaliar a utilização de resíduos da espuma de PU como agregado graúdo na produção de um concreto leve, Lima (2020) desenvolveu blocos em porcentagens de 0%, 25%, 50%, 75% e 100% na substituição de argila expandida. O traço com 75% de PU ofereceu resistência 10% superior em comparação com o traço de referência. Mesmo que seja em substituição em um componente do concreto, porém, corrobora a análise feita neste trabalho de que com a inserção do PU há uma melhora na resistência do concreto.

Mattar e Vianna (2012) mostraram em seu estudo a viabilidade técnica para a produção de blocos de concreto com resíduos de plástico. Neste estudo eles inseriram na produção de blocos 5% de plástico atingindo o valor médio para a compressão encontrada de 3,66 MPa onde o valor de referência no trabalho era de 3 MPa, reforçando a tendência da quantificação de resíduo a ser incluído no bloco feito neste trabalho (Gráfico 2).

Importante destacar que os resíduos de PU utilizados para a confecção dos corpos de prova continham fibra sintética, a parte verde das esponjas. Neste

âmbito, Castro et al (2011) incluiu fibras de polipropileno em concreto e além do efeito positivo sobre o lascamento de concretos expostos às altas temperaturas, as fibras de polipropileno reduzem a trabalhabilidade e a exsudação de água para a superfície do concreto, evitando a segregação quando no estado fresco e aumentam a resistência à tração, a capacidade de deformação na tração e a resistência ao gelo degelo do concreto quando no estado endurecido.

5.2.5 Segundo Ensaio de Compressão a Ruptura (f_{bk})

Com a finalidade de verificar a tendência que a inclusão de 5% de PU e fibra no bloco de concreto melhorava sua resistência realizou-se um estudo em quintuplicata ($n=5$) visando termos uma análise estatística com média e desvio padrão, pois a primeira análise exploratória foi realizada em monuplicata ($n=1$). Verificou-se que os materiais envolvidos (pedra, brita e areia) neste segundo ensaio foram diferentes do primeiro. Pelo fato de ser um material extraído geologicamente ele sofre variações conforme o fornecedor. Portanto, logo no adensamento dos corpos de prova para esta quintuplicata verificou-se esta variável.

Outro fator importante a observar neste segundo ensaio foi o tempo e a forma de cura dos corpos de prova. Na busca pelos melhores parâmetros para a confecção ideal dos blocos utilizamos para a cura dos corpos a normativa NBR 6136. Conforme a norma, a cura dos corpos de prova em água com cal por 28 dias hidrata mais o corpo do bloco de concreto, melhorando sua resistência. Então deixou-se os corpos banhados em recipiente com água e cal (Figura 19).

Figura 19: Processo de cura - 28 dias - Corpos de prova imersos em água e cal



Fonte: do próprio autor

Após o processo de cura os corpos foram retirados do recipiente com água e cal e logo levados para o ensaio de compressão conforme norma NBR 6136. As medidas das amostras (massa, diâmetro, área) bem como os valores das rupturas estão nas Tabelas 10 a 13.

Tabela 10: Amostra C0 – Cimento Puro

Amostras C0	corpo 1	corpo 2	corpo 3	corpo 4	corpo 5	média
Massa (Kg)	2,62	2,8	2,69	2,62	2,81	2,708
Diâmetro (cm)	9,74	9,8	9,8	9,75	9,77	9,772
Carga de ruptura (tf)	1,44	0,88	1,19	1,37	1,1	1,196
Área (cm ²)	74,47107	75,3914	75,3914	74,62406	74,93053	74,96121
Compressão (MPa)	1,896898	1,145064	1,548439	1,800987	1,440134	1,57

Fonte: do próprio autor

A Tabela 11 mostra a massa, diâmetro e área média do corpo de prova de concreto com 5% de PU, respectivamente, além disso, podemos ver que a carga de ruptura foi de 0,824 tf enquanto a resistência a compressão foi de 1,08 MPa, sem muitas flutuações entre as réplicas dessa amostra.

Tabela 11: Amostra C1 – Cimento com 5%PU

Amostras C1	corpo 1	corpo 2	corpo 3	corpo 4	corpo 5	média
Massa (Kg)	2,57	2,8	2,81	2,68	2,78	2,728
Diâmetro (cm)	9,77	9,73	9,85	9,78	9,78	9,782
Carga de ruptura (tf)	0,97	0,89	0,8	0,71	0,75	0,824
Área (cm ²)	74,93053	74,31823	76,16266	75,08399	75,08399	75,11471
Compressão (MPa)	1,269936	1,174799	1,030426	0,927641	0,979903	1,08

Fonte: do próprio autor

Entre as amostras C0, C1, C2 e C3 nota-se uma variação de cerca de 8% da sua massa, evidenciando que a inclusão do polímero tornou o bloco mais leve.

Tabela 12: Amostra C2 – Cimento com 10%PU

Amostras C2	corpo 1	corpo 2	corpo 3	corpo 4	corpo 5	média
Massa (Kg)	2,45	2,43	2,62	2,42	2,62	2,508
Diâmetro (cm)	9,7	9,77	9,76	9,84	9,7	9,754
Carga de ruptura (tf)	0,51	0,65	0,45	0,48	0,41	0,5
Área (cm ²)	73,86065	74,93053	74,77722	76,0081	73,86065	74,68531
Compressão (MPa)	0,67737	0,850988	0,590354	0,619513	0,544552	0,66

Fonte: do próprio autor

Em um comparativo relacionado as dimensões de diâmetro e área as amostras não evidenciaram variação significativa que modificasse algo no estudo.

Tabela 13: Amostra C3 – Cimento com 20%PU

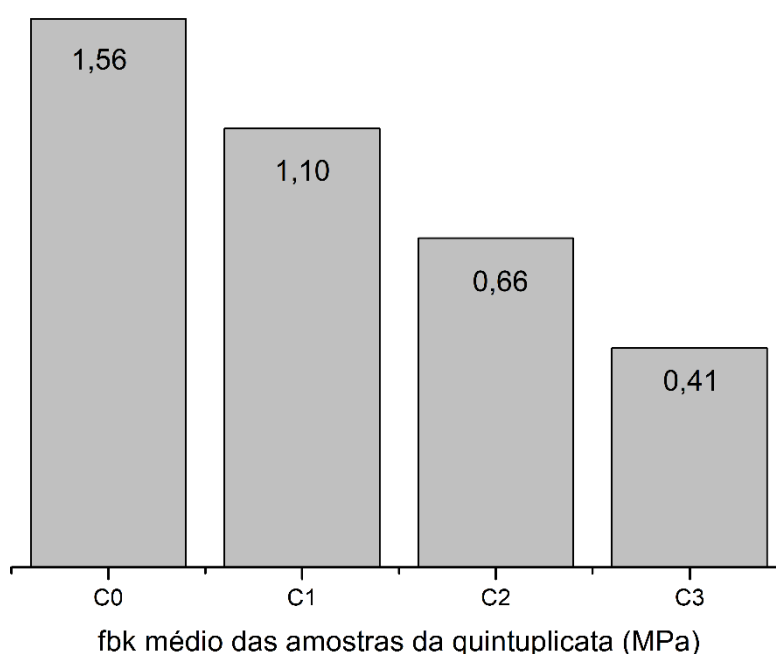
Amostras C3	corpo 1	corpo 2	corpo 3	corpo 4	corpo 5	média
Massa (Kg)	2,34	2,59	2,64	2,61	2,65	2,566
Diâmetro (cm)	9,77	9,73	9,8	9,86	9,73	9,778
Carga de ruptura (tf)	0,46	0,45	0,41	0,38	0,38	0,31
Área (cm ²)	74,93053	74,31823	75,3914	76,31739	74,31823	75,05329
Compressão (MPa)	0,602238	0,594	0,533496	0,48846	0,5016	0,41

Fonte: do próprio autor

Com os dados das tabelas compilados obtivemos o gráfico 3 com a média das rupturas em cada amostra C0, C1, C2 e C3. O gráfico mostra valores de

compressão abaixo dos encontrados no primeiro ensaio exploratório por conta dos materiais fornecidos e do método de cura serem diferentes nesta quintuplicata. Garcia et al. (2016) relataram que as propriedades dos agregados e a composição do concreto são os principais fatores que influenciam a resistência à compressão do concreto, desta forma é extremamente necessário o conhecimento e estudo da origem dos componentes.

Gráfico 3: *Compressões médias das amostras da quintuplicata (MPa)*



Fonte: do próprio autor

5.2.5 Análise após os dois ensaios de compressão

Em um comparativo entre o primeiro ensaio com o segundo observa-se uma queda dos valores de compressão a ruptura como dito anteriormente. Porém, o segundo ensaio trouxe evidências sobre a importância da origem dos materiais componentes na fabricação dos blocos e o tempo de cura.

A norma brasileira para fabricação de blocos de concreto traz a cura em água e cal por 28 dias (NBR6136). Uma vez que inserimos os resíduos de PU e

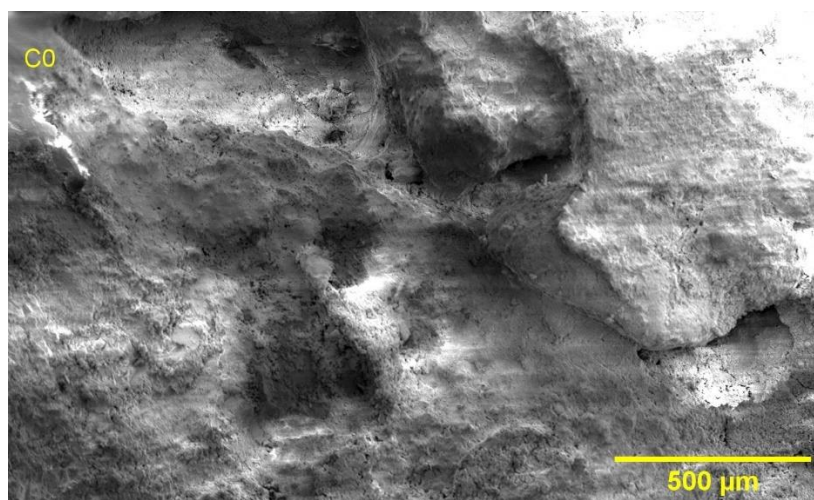
fibra, pelo segundo ensaio, fica claro que a normativa não obteve valores desejados para a ruptura por conta de a fibra sintética ficar exposta muito tempo na água, e por serem esponjas e mesmo trituradas seus poros expansivos podem armazenar o líquido prejudicando na cura no cimento.

Lima (2018) relatou que os agregados artificiais em concreto possuem características particulares. Ou seja, influenciam nos valores da resistência. Em outro estudo semelhante Siqueira et al. (2004) relatou que a inserção de PU no concreto aumenta a absorção da água dando uma ideia da porosidade do material obtido.

5.3 Análise de imagens no Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV)

Visando observar o efeito da adição do PU e fibra no concreto o microscópio eletrônico de varredura foi utilizado para observar a dispersão do polímero no concreto. A Figura 20 mostra uma ampliação da visão geral (100x) do concreto sem adição do PU (C0) enquanto na Figura 21 é possível observar uma distribuição do PU na superfície da amostra.

Figura 20: Imagem Amostra C0 - ampliação 100x

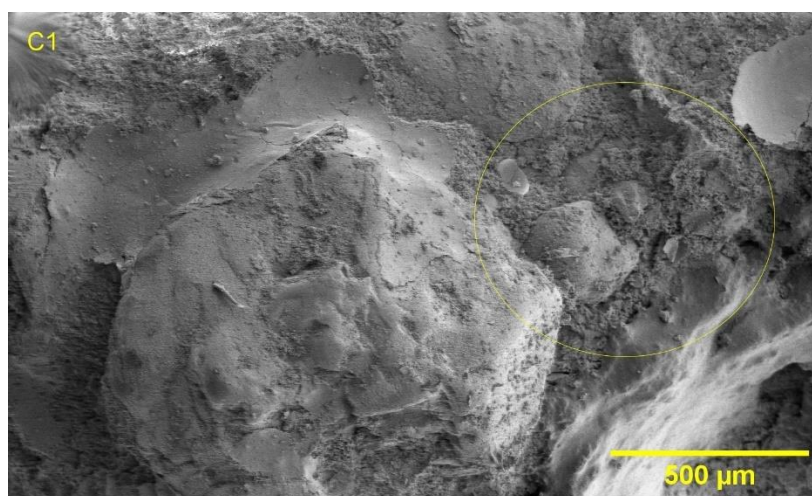


Fonte: Instituto de Química – Unesp/Araraquara (2022)

Em compostos com cimento é possível notar a presença de poros devido aos agregados, que neste caso eram de PU e fibra conforme observado na

Figura 21 (DUART, 2008). Nota-se a presença do agregado de PU na micrografia.

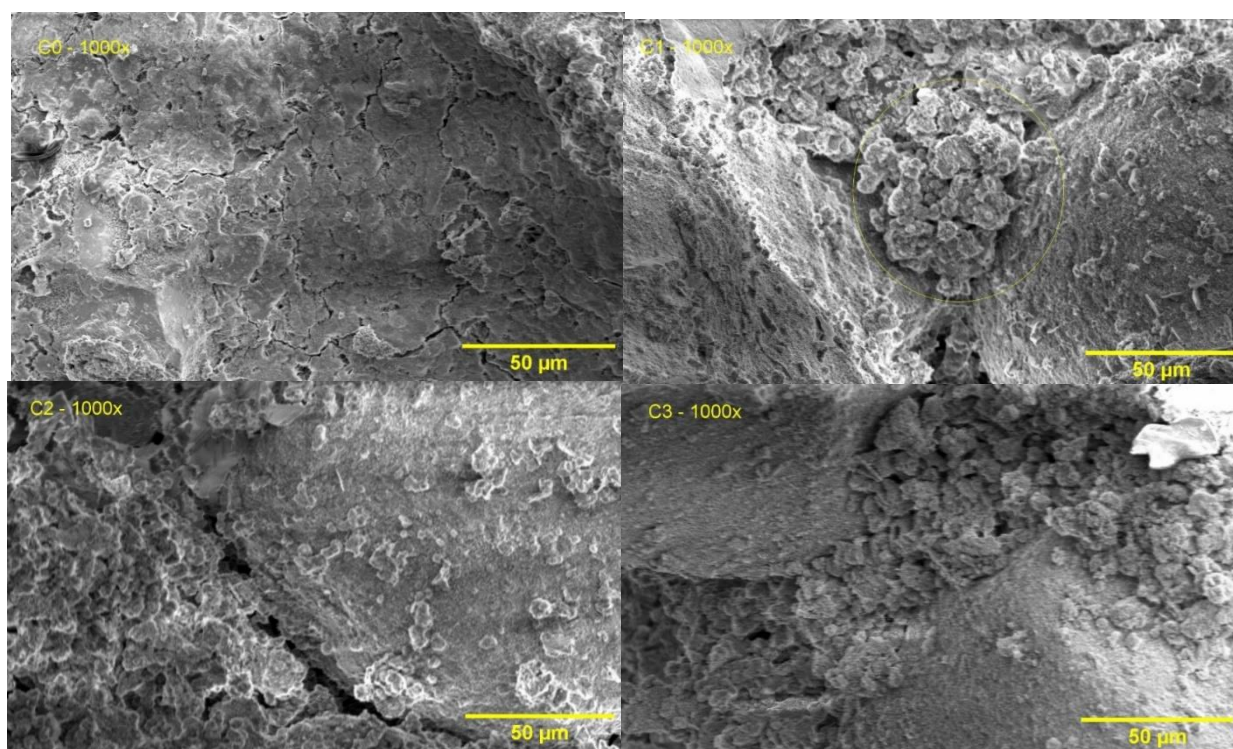
Figura 21: Imagem Amostra C1 - ampliação 100x



Fonte: Instituto de Química – Unesp Araraquara (2022)

Em uma magnitude de 1000x verifica-se uma superfície com certa rugosidade e quando é incorporado as proporções fica evidente a formação de grânulos conforme destaque na região central da amostra C1 na Figura 22.

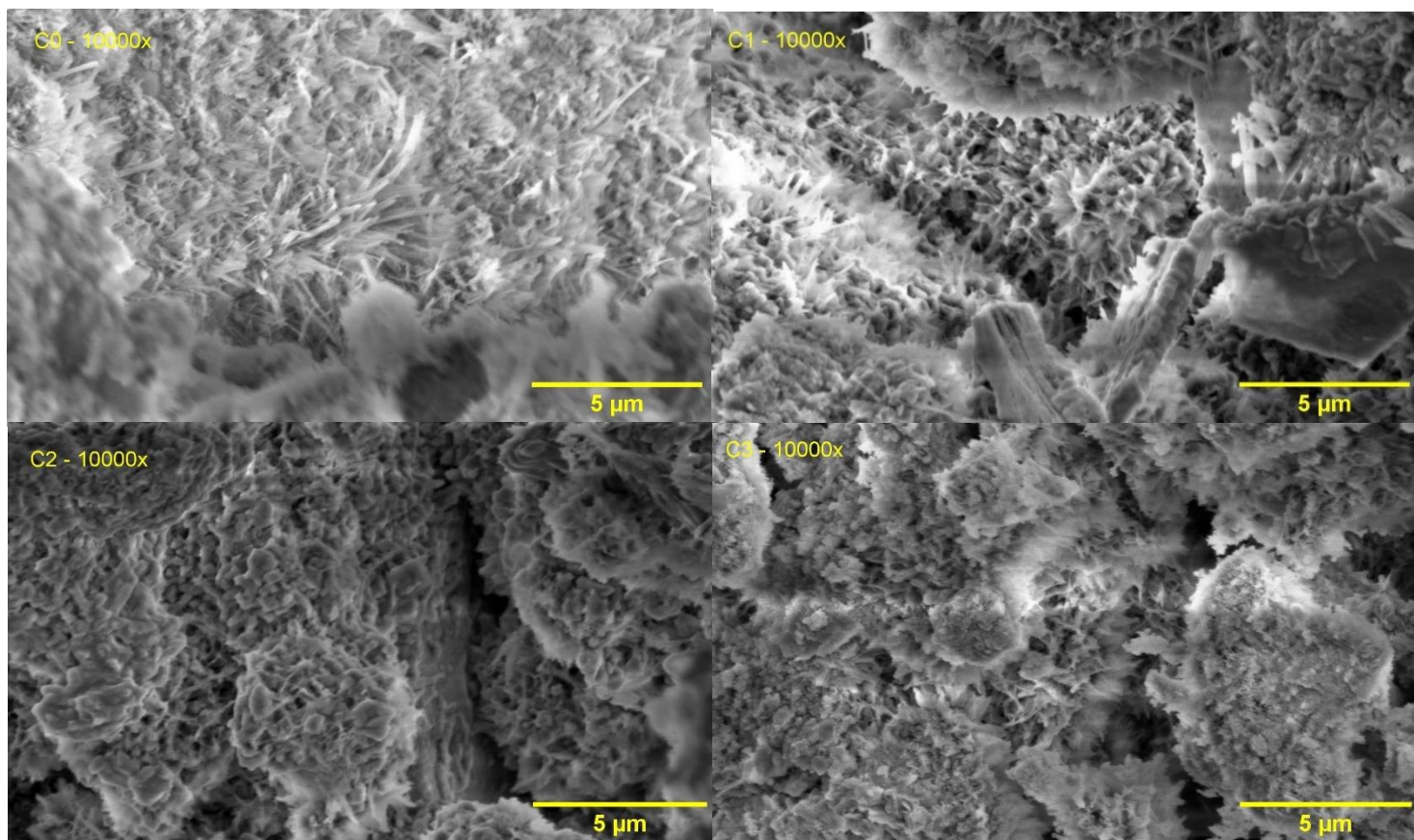
Figura 22: Amostras C0, C1, C2, C3 - ampliação 1000x



Fonte: Instituto de Química – Unesp Araraquara (2022)

Tentando observar de uma forma ainda mais ampla e mais profunda observamos os grânulos dispersos como evidente em C1, C2 e C3 da Figura 23. Siqueira et al, 2004 atribui que estes grânulos representam a fase intacta e amassadas e ainda que este efeito pode estar relacionado com a forma de como foi feito o adensamento da massa.

Figura 23: Amostras C0, C1, C2, C3 - ampliação 10000x



Fonte: Instituto de Química – Unesp Araraquara (2022)

Verifica-se nas imagens da Figura 23 que aparecem alguns cristais aciculares de um sulfoaluminato de cálcio hidratado chamado etringita (SIQUEIRA et al., 2004). A presença do PU no concreto e suas características de interação com o cimento estão apresentadas na imagem C1 da Figura 23, aparecendo em formato sextavado em fase intacta, enquanto em outras imagens as partículas de PU aparecem amassadas. Este efeito pode estar relacionado com a quantidade de PU e/ou com o processo de mistura e compactação da massa das amostras.

Para todas as amostras foi visto que existe uma boa ligação entre os grãos de PU e a matriz cimentícia (SIQUEIRA et al., 2004).

As análises físico-químicas e mecânicas mostram que se trata de um trabalho promissor e viável economicamente, agregando valor ao resíduo de PU e fibra, onde observamos que no primeiro ensaio encontramos valores resistência a compressão de acordo com a ABNT, enquanto no segundo tivemos redução quando as amostras foram calcinadas. Assim, trabalhos serão realizados visando encontrar o melhor tempo dessa calcinação, ou mesmo remover essa etapa do processo.

6. Conclusões

No intuito de ampliar o conhecimento nas diretrizes da sustentabilidade dos resíduos industriais de PU e fibra, o trabalho objetivou em confeccionar blocos de concreto adicionando esponjas de PU e fibra sintética visando obter valores de resistência à compressão dentro dos padrões estabelecidos na normalização brasileira.

A parte experimental da trituração dos resíduos se mostrou de suma importância para a fabricação dos blocos, uma vez que a trituração por cilindros duplos e granulação foi a ideal para a composição do produto (MARQUEZ; CELSO, 2020). Depois disso, foi avaliada a influência de diferentes teores de resíduos nos blocos de concreto, bem como a trabalhabilidade a partir dos resultados de compressão. Estudos físico-químico e morfológico dos componentes puros (PU e concreto), bem como o compósito (PU-concreto) mostraram que as bandas de absorção foram preservadas após a adição do polímero mostrando que o material está adsorvido no concreto. Este comportamento foi comprovado nas análises micro gráficas, onde a interação do PU e fibra sintética com a massa cimentícia se fez presente nas proporções das amostras. No primeiro ensaio de compressão realizado, os resultados indicaram que os valores para o traço de 5% de inserção de PU no bloco de concreto melhoram sua resistência em 49,21% na comparação com o bloco de referência. Entretanto, com concentrações de 10% e 20% observamos a diminuição da resistência do corpo de prova, mas essa propriedade foi preservada para poder ser empregado em paredes e muros. O segundo ensaio trouxe perspectivas ótimas quanto aos materiais utilizados e o tempo de cura. Assim, a influência dos agregados naturais com os resíduos a serem incorporados devem ser levados em conta por conta da água no processo de cura (LIMA, 2018).

A utilização dos resíduos de espumas de poliuretano e fibra sintética na produção de blocos de concreto se mostra viável, satisfazendo às condições necessárias para aplicações com fins não estruturais. Atendendo a proposta deste trabalho, é possível produzir um componente não estrutural de caráter sustentável baseado no reuso dos resíduos das esponjas de uma indústria de produtos de limpeza fornecendo um destino apropriado para este resíduo altamente poluente.

7. Perspectivas

Devido ao grau de ineditismo e da grande questão sustentável se faz necessário a aplicação destes resíduos de esponjas de poliuretano com fibras sintéticas às seguintes perspectivas:

7.1 Perspectivas técnicas

- Melhorar o método de fabricação dos blocos de concreto, através de máquinas que proporcionem maior grau de compactação, do uso de aditivos que diminuam a absorção de água pelo PU e que melhore sua resistência, tornando-o menos poroso e mais leve.
- Otimizar o estudo sobre o tempo de cura e origem dos materiais naturais utilizados na fabricação do bloco de concreto.

7.2 Perspectivas econômicas e sustentáveis

- Verificar a aplicação econômica do novo bloco de concreto com os resíduos de PU e fibra, comparando o bloco padrão com o novo.
- Verificar a aplicação econômica da substituição de parte dos agregados da produção dos blocos em resíduos.
- Aplicar o resíduo triturado de PU e fibra já estudado e desenvolvido neste trabalho em Polipropileno da Empresa Santa Maria Ltda que gera o resíduo e produzir um material compósito que agregue valor ainda maior ao resíduo gerado diário, incluindo estudos e práticas de ESG (Environmental, Social and Governance) junto a empresa.

8. Referências

ALMEIDA, Elizandro. **Potencial de utilização do resíduo “carepa de aço” na fabricação de blocos de concreto.** Tese de Mestrado em Ambiente e Desenvolvimento. Centro Universitário UNIVATES. 2009.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM CSN EN 13423 - Natural gas vehicles - Requirements for NGV workshops and the management of compressed natural gas (CNG) vehicles.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM CSN EN 14995 - Plastics - Evaluation of compostability - Test scheme and specifications.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D6400 Standard Specification for Labeling of Plastics Designed to be Aerobically Composted in Municipal or Industrial Facilities.

ANDRADE, H. S. **Pneus inservíveis:** alternativas possíveis de reutilização. 2007. 101 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Econômicas) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND, disponível em <<<https://abcp.org.br/>>> Acesso em 17 mar. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 12118:** blocos vazados de concreto simples para alvenaria – métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2013. 14 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 5733:** cimento portland de alta resistência inicial. Rio de Janeiro, 1991. 5 p. ABNT

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 5738:** concreto – procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro, 2008. 6 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 7211:** Agregados para concreto. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10.004:** Resíduos Sólidos - Classificação. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 11768:** Aditivos químicos para concreto de cimento Portland. Rio de Janeiro, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15448**: Embalagens plásticas degradáveis e/ou fontes renováveis – Requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15900-1**: Água para amassamento de concreto. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 16208**: Misturas asfálticas – Determinação do teor de betume pelo Soxhlet, pelo Rotarex e pelo refluxo duplo. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 35**: Agregados leves para concreto estrutural - Especificação. Rio de Janeiro, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5732**: Cimento Portland Comum. Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6136**: Bloco vazado de concreto simples para alvenaria estrutural - Requisitos. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6236**: Madeira para carretéis a fios - Requisitos. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 9935**: Agregados - Terminologia. Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR NM 248**: Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2001.

BESSLER, Karl E.; RODRIGUES, Laécio C. Os polimorfos de carbonato de cálcio – uma síntese fácil de aragonita. **Quím. Nova**, São Paulo, v. 31, n 1, p. 178-180, 2008. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422008000100032&lng=en&nrm=iso> Acesso em: 12 Out. 2017.

BRAVO, R S. **Análise de blocos de concreto com resíduo de borracha de pneu e metacaulim**. Tese de Mestrado em Engenharia Civil Faculdade de Engenharia do Campus de Ilha Solteira – UNESP. 2014.

CALDERÓN, V. *et al.* Construction Applications of Polyurethane Foam Wastes. **Recycling of Polyurethane Foams**, p. 115–125, 2018.

Cannan et al. **Resíduos do processamento da soja e seu potencial na geração de produtos de alto valor agregado**. Food Chemistry. Volume 373, Part B, (2022). 131476. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131476>

CARVALHO et al. **Caracterização de poliuretano baseado em polioli sintetizado a partir de glicerol e hexametileno diisocianato**. Anais do 10º Congresso Brasileiro de Polímeros – Foz do Iguaçu, PR – Outubro/2009.

CASTRO, A. L. de; TIBA, P. R. T.; PANDOLFELLI, V. C.. Fibras de polipropileno e sua influência no comportamento de concretos expostos a altas temperaturas: revisão. **Cerâmica**, São Paulo, v. 57, n. 341, p. 22-31, Mar. 2011. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0366-69132011000100003&lng=en&nrm=iso>. Acesso em 14 Out. 2017.
Chemistry and Technology of Polyols for Polyurethanes, Mihail Ionescu, Rapra Technology, 2005.

COSTABEBER et al. **Avaliação da hemocompatibilidade de arcabouços de PLA recobertos com PCL, fabricados por impressão 3D para aplicação em regeneração óssea**. Tese de mestrado. Engenharia de Biomateriais e Bioprocessos (Mestrado Profissional) - FCFAR 2021.

DACAL, R. G. V. **Remoção de óleo da água produzida de petróleo utilizando leitos coalescedores de fibra de coco e de fibra sintética**. Tese de Mestrado em Engenharia Química. Universidade Federal de Alagoas, 2017.

DIAZ et al. **Incorporación de residuos de pellets de poliuretano para la mejora del aislamiento térmico de bloques de hormigón no estructurales**. Department of Techniques and Projects in Engineering and Architecture. Universidad de La Laguna. Avda. Ángel Guimerá Jorge, s/n 38204-La Laguna. Tenerife, Islas Canarias (Spain). 2018.

Dombe et al. Investigation on the Use of E-Waste and Waste Plastic in Road Construction. **Recent Developments in Pavement Engineering** (pp.85-99). DOI:10.1007/978-3-030-34196-1_6 . 2020.

ESPERT, A.; VILAPLANA, F.; KARLSSON, S. **Comparison of water absorption in natural cellulosic fibres from wood and one-year crops in polypropylene composites and its influence on their properties**. **Composites**, A. Appl. Sci. Man., v. 35, p. 1267-1276, 2004

Garms, BC, Borges, FA, de Barros, NR *et al.* **Novo curativo polimérico para o tratamento de feridas crônicas infectadas**. *Appl Microbiol Biotechnol* **103**, 4767-4778 (2019). <https://doi.org/10.1007/s00253-019-09699-x>

Garrido, M.A.; Gerecke, A.C.; Heeb, N.; Font, R.; Conesa, J.A. **Isocyanate emissions from pyrolysis of mattresses containing polyurethane foam**. **Chemosphere**. 2017, 168, 667–675.

GEORGOPOULOS, S.T.; TARANTILI, P.A.; AVGERINOS, E.; ANDREOPOULOS, A. G.; KOUKIOS, E.G. **Thermoplastic polymers**

reinforced with fibrous agricultural residues. Polym. Degrad. Stab., v.90, p. 303-312, 2005. KEMONA, A., PIOTROWKA, M. **Polyurethane Recycling and Disposal: Methods and Prospects.** Institute of Fermentation Technology and Microbiology, Faculty of Biotechnology and Food Sciences, Lodz University of Technology, Wólczanska 71/173, 90-924 Łódź, Poland. 2020.

GOMEZ-ROJO et al. **Characterization of Polyurethane Foam Waste for Reuse in Eco-Efficient Building Materials.** Polymers. Departamento de Construcciones Arquitectónicas e I.C.T., Escuela Politécnica Superior, C/Villadiego S/N 09001 University of Burgos, 09001 Burgos, Spain. 2018.
Gonzalez-Diaz, E., Jaizme-Vega, E., Jubera-Perez, J., Torres-Betancort, M., Sanchez-Facardo, V.. (2019). **Incorporação de resíduos de pellet de poliuretano para melhoria do isolamento térmico de blocos de concreto não estruturais** DYNA, 94(4). 401-408. DOI: <https://doi.org/10.6036/8985>

HELENE, P, ANDRADE, T. **Concreto de Cimento Portland.** Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais. Capítulo 29. IBRACON 2010.

KIPPER, Liane Mahlmann; MÄHLMANN, Cláudia Mendes. RODRÍGUEZ, Adriane Lawisch. Ações estratégicas sistêmicas visando à integração da cadeia produtiva e de reciclagem de plásticos. **Revista Produção Online**, v.9, n.4, p. 848-865, dez. de 2009. Disponível em <http://www.producaoonline.org.br/index.php/rpo/article/view/348>.

L. V. MAIA SIQUEIRA; M. R. STRAMARI; M. V. FOLGUERAS, **Adição de Poliuretano expandido para confecção de blocos de concreto leve**, Revista Matéria, v. 9, n. 4, pp. 399 – 410, 2004 <http://www.materia.coppe.ufrj.br/sarra/artigos/artigo10607>

LIMA, A. O. S. et al. Análise da Inclusão da Escória de Aciaria como Material Alternativo para Pavimentos Flexíveis, em Estados Brasileiros. **Anais do XV Encontro de Iniciação à Pesquisa/XV Encontro de Iniciação à Docência/XIII Encontro de Pesquisadores/II Mostra de Ciência, Arte e Cultura do Centro Universitário Christus - Unichristus**, 2018. Disponível em: www.even3.com.br/Anais/xvencontrounichristus/114715-ANALISE-DA-INCLUSAO-DE-ESCORIA-DE-ACIARIA-COMO-MATERIAL-ALTERNATIVO-PARA-PAVIMENTOS-FLEXIVEIS-EM-ESTADOS-BRASILE.

LIMA, Arthur Othon Silva. **Poliuretana reciclada como agregado na produção de concreto leve.** Trabalho de conclusão de curso. Centro Universitário Christus. Núcleo de Tecnologia – Engenharia Civil. 2020.

MAGNIN et al. Evaluation of biological degradation of polyurethanes. November 2019. **Biotechnology Advances**. 39(115). DOI:10.1016/j.biotechadv.2019.107457

MAJOR et al. Thermal and Dynamic Numerical Analysis of a Prefabricated Wall Construction Composite Element Made of Concrete-polyurethane. **Procedia Engineering** 190 (2017) 231 – 236.

Marcatto et al. **Andaimes de ácido polilático impressos em 3D revestidos com látex de borracha natural para aplicação biomédica**. Journal of Applied Polymer Science (2021). <https://doi.org/10.1002/app.51728>

MARQUES, M. E., CELSO, F. **Estudo da viabilidade técnica do processamento de resíduos de espuma flexível de poliuretano por um moinho de facas**. Revista Tecnologia e Tendências | Novo Hamburgo | a. 11 | n. 1 | jan./jun. 2020. DOI: <https://doi.org/10.25112/rtt.v11i1.2292>.

MATTAR, D C, VIANA, E. **Utilização de resíduos poliméricos da indústria de reciclagem de plástico em bloco de concreto**. V(8), nº 8, p. 1722-1733, SET-DEZ, 2012. Rev. Elet. em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental (e-ISSN: 2236-1170)

MEDEIROS, J. S. **Alvenaria estrutural não armada de blocos de concreto: produção de componentes e parâmetros de projeto**. 1993. 449 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993
MEDEIROS, J. S.; DORNELLES, V. P.; FRANCO, L. S. Blocos de concreto para alvenaria estrutural: avaliação de parâmetros básicos de produção. In: INTERNATIONAL SEMINAR ON STRUCTURAL MASONRY FOR DEVELOPING COUNTRIES, 5., 1994, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: [s.n.], 1994.

MEDEIROS, J. S.; SABBATINI, F. H. **Alvenaria estrutural não armada de blocos de concreto: produção de componentes e parâmetros de projeto**. São Paulo: USP, 1993. (Boletim Técnico).

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto - Microestrutura, Propriedade e Materiais**. 2.ed. Natal: IBRACON, 2014. 751 p.

MOHAMAD, G.; ROMAN, H. R.; RIZZATTI, E.; ROMAGNA, R. Alvenaria estrutural. In: ISAIA, G. C. (Ed.). **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais**. São Paulo: IBRACON, 2010. p. 1045-1075.

MOTTA, B. C. S. **Estudo do efeito do uso de polioli reciclado nas propriedades mecânicas da espuma rígida de poliuretano**, Dissertação de mestrado em Engenharia Química, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2011.

NERES, R. A. **Caracterização de Amostras de Esponja Sintética Dupla Face**. Tese (Mestrado em Química) – Instituto de Química, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

OLIVEIRA, M. C. B. R. **Gestão de Resíduos Plásticos pós-consumo: perspectivas para a reciclagem no Brasil**. 2012. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: http://www.ppe.ufrj.br/pppe/production/tesis/maria_deoliveira.pdf.

PANZERA, T. H. et al. Propriedades Mecânicas de Materiais Compósitos a Base de Cimento Portland e Resina Epóxi. **Cerâmica**. São Paulo, v. 56, n. 337, p. 77-82, Mar. 2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0366-69132010000100013&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 12 Out. 2017.

Plastics Europe Association of Plastics Manufacturers Plastics—The Facts 2019 An analysis of European Plastics Production, Demand and Waste Data. Available online: <https://www.plasticseurope.org/en/resources/market-data> (accessed on 25 July 2020).

Programa Nacional de Reciclagem de Esponjas Scotch-Brite. <<Disponível em <https://www.terracycle.com/pt-BR/brigades/brigada-de-esponjas-scotch-brite>>> vinculado a empresa TerraCycle.

PURCOM. Casa de Sistemas em Poliuretano (2021). Disponível: <https://www.purcom.com.br/casa-de-sistemas-em-poliuretano>. Acesso em: março de 2021.

RIBEIRO, E M S. PRATAVIERA, G. A. MODELING EMPIRICAL DISTRIBUTIONS OF FIRM SIZE WITH DISTRIBUTIONS. **INTERNATIONAL JOURNAL OF APPLIED MATHEMATICS**. vol. 28, p. 715-725, 2015

ROMANO, R. C. O. et al. **Acompanhamento da hidratação de cimento Portland simples com resíduo de bauxita**. 2016, vol.62, n.363, pp.215-223

ROTHON, R. Particulate Filled Polymer Composites. Londres. **Longman Scientific and Technical**, 1995.

SALVADOR. J. A. A. F. 5182b. **Blocos de concreto para alvenaria em construções industrializadas**. Universidade de São Carlos. São Carlos, 2007. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18134/tde-29012009-104204/pt-br.php>. Acesso em 11/2010

SANTOS, Ana Carolina. **Estudo e avaliação da reciclagem de polímeros**. 2019. 54 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Materiais, Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2019.

SARI et al. **A Study on the Characteristics of Palm-Based Polyurethane as a Lightweight Aggregate in Concrete Mix**. Sains Malaysiana 44(6)(2015): 771–778. Polymer Research Center. 2014.

SHAIK Azmat et al. **Use of Plastic Waste in Road Construction**. International Journal of Advance Research and Development. Volume 2, Issue 5. 2017.

SILVA, V. A; FERNANDES, A, L. Cenário do gerenciamento dos resíduos da construção e demolição (RCD) em Uberaba-MG. **Revista Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 24, n. 2, p. 333-344, 2012.

SILVEIRA, C.B.; ESCOBAR, J.A.; QUINTERO, M.W.; et al, Decomposição térmica de espumas de poliuretano para fabricação de vitrocerâmica celular de $\text{Li}_2\text{O}-\text{ZrO}_2-\text{SiO}_2-\text{Al}_2\text{O}_3$ (LZSA). In.: **Química nova**. Vol 30. São Paulo:n.5, sept/oct. 2007.

SPADOTTO, Cláudio e RIBEIRO, Wagner. **Gestão de Resíduos na Agroindústria**. Cap. 21. Embrapa. 2006.

TAUIL, C. A. O Pai da matéria. **Revista Prisma**, São Paulo, v. 12, 2005.

WIERCKX et al. **Plastic Biodegradation: Challenges and Opportunities**. Consequences of Microbial Interaction with Hydrocarbons, Oils and Lipids: Biodegradation and Bioremediation. Publisher: Springer, Cham DOI:10.1007/978-3-319-44535-9_23-1. 2018

YANG, Wenqing et al. Recycling and Disposal Methods for Polyurethane Foam Wastes. **Procedia Environmental Sciences**, [s.l.], v. 16, p. 167-175, 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.proenv.2012.10.023>

YOUSSEF, B.:MORTAIGNER, B.: SOULARD, M., SAITER, J. M..Fireproofing of Polyurethane By Organophosphonates: Study os degradation by simultaneously TG/DSC. **Journal os Thermal Analysis and Calorimetry**, Vol. 90 (2007) 2, p. 489-494.