

VANDERLEY LUIZ MARCHI

**ESTUDO DE PROPRIEDADES MECÂNICAS DE CONCRETO CONVENCIONAL
COM SUBSTITUIÇÃO DE PARTE DOS AGREGADOS POR RESÍDUOS DE
POLIURETANO**

JOINVILLE

2008

VANDERLEY LUIZ MARCHI

**ESTUDO DE PROPRIEDADES MECÂNICAS DE CONCRETO CONVENCIONAL
COM SUBSTITUIÇÃO DE PARTE DOS AGREGADOS POR RESÍDUOS DE
POLIURETANO**

Dissertação de mestrado apresentada
como requisito parcial para obtenção
do título de Mestre em Engenharia de
Processos, na Universidade da Região
de Joinville.

Orientador: Prof. Dr. Rogério de
Almeida Vieira.

JOINVILLE

2008

**Aos meus Pais, à minha esposa e filhos
pelos momentos de paciência e compreensão
durante a realização deste trabalho...**

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Rogério de Almeida Vieira, que foi para mim um exemplo de orientação e dedicação durante todo período que trabalhamos juntos. Agradeço pela nossa grande amizade conquistada nestes anos e pela total confiança depositada em mim. Agradeço também por sua orientação quanto ao oferecimento de disciplinas especiais ao nível de pós-graduação, visando a minha formação específica e necessária para a execução deste projeto de dissertação de mestrado.

Ao Programa de Mestrado em Engenharia de Processos da Universidade da Região de Joinville, pelos serviços prestados para a minha formação acadêmica.

À Universidade da Região de Joinville, por ter disponibilizado a sua infra-estrutura e materiais para a realização de algumas etapas experimentais deste trabalho de dissertação.

Ao Engenheiro Neilson Luiz Ribeiro Modro, pela amizade e parceria no decorrer do curso.

Aos senhores André e Nelson Benetti Moura, e ao Eng. Alexandre José Erbs, responsáveis pela empresa TESTESOLO, pelos ensaios realizados nos corpos de prova desenvolvidos neste trabalho de dissertação.

À Construtora *Stein* pela disponibilização e apoio no decorrer deste trabalho de dissertação.

À Profa. Dra. Cladir Terezinha Zanotelli e Prof. Dr. Edgar Odebrecht pela amizade e pelas sugestões dadas durante a defesa desta dissertação.

E finalmente, a todos aqueles que, direta e indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

**“A maneira como consumimos
define o tipo de sociedade que
queremos construir”**

Mahatma Gandhi

RESUMO

Atualmente com os constantes aumentos na produção de resíduos por parte das indústrias, é cada vez mais necessário realizar um maior controle em sua produção e destinação, com base nos preceitos do desenvolvimento sustentável, para suprir as necessidades da geração atual, sem comprometer a capacidade de atender as necessidades das futuras gerações. Uma das possibilidades de controle de resíduos é o seu reuso na fabricação de novos produtos onde consegue propriedades interessantes. Na construção civil, existe uma grande tendência e estudos recentes de reutilização de alguns resíduos na fabricação de argamassas de concreto. Os estudos relatam a utilização de poliuretano rígido na estrutura do concreto para uso na construção civil. No entanto, a necessidade de um estudo mais detalhado se torna necessário. Neste sentido, este trabalho de dissertação apresenta uma análise mais abrangente do levantamento de propriedades mecânicas de misturas de concreto com variações de concentração em volume de poliuretano rígido em substituição de parte dos agregados correlacionando também com três tempos de cura do cimento utilizado. Foram realizadas análises de separação granulométrica para saber os tamanhos de partículas, *Slump Test*, tensão de ruptura, tensão diametral, tensão de flexão e absorção de água. As análises demonstraram resultados bastante promissoras e com capacidade de dar suporte no projeto adequado de estruturas a serem utilizados na construção civil.

Palavras-chave: resíduos, poliuretano, concreto, construção civil, agregados.

ABSTRACT

Currently with the constant production of residues by the industrial sites, it's more and more necessary to accomplish a larger control over that production and destination through a sustainable development, to supply the needs of the current generation, without compromising the capacity to assist the needs of future generations. One of the possibilities to control residues would be reuse them in the production of new products, where they could get interesting properties. In the building industry, there is a great tendency linked to recent studies to reuse some concrete production residues. Recent studies show results about using rigid polyurethane in the concrete structure in the building construction. However, a more detailed study is necessary. In this sense, this work presents a study of mechanical properties related to concrete mixtures with different concentration variations (%vol.) of rigid polyurethane substituting part of the concrete aggregates. Furthermore, this was correlated with three cure times of the cement used. Different grain metrics analyses were accomplished to know the particles sizes, Slump Test, rupture tension, diametrical tension, bending test and water absorption. The analyses demonstrated promising results to give support in the structure projects to be used in the building industry.

Key- words: waste, polyurethane, concrete, building industry, aggregate.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Reações químicas presentes desde a fabricação até a hidratação do cimento Portland (SIQUEIRA et al., 2004).	14
Figura 2. Fluxograma apresentando um resumo do procedimento experimental utilizado neste trabalho de dissertação.	20
Figura 3. Moldagem dos corpos-de-prova conforme a NBR 5738. a) colocação do concreto no molde, com o auxílio de concha, b) adensamento com a utilização de haste de socamento.	23
Figura 4. Equipamento de ensaio de compressão alocado na empresa Testecon Análise Laboratorial de solo, na cidade de Blumenau – SC.	25
Figura 5. Imagem do poliuretano rígido triturado e separado nas faixas granulométricas; a) Faixa 1: 9,50 a 4,75 mm, b) Faixa 2: 4,75 a 2,36 mm, c) Faixa 3: 2,36 a 1,18 mm e d) Faixa 4: 1,18 a 0,60 mm.	28
Figura 6. Imagem dos agregados utilizados no amassamento: a) Pós de pedra, b) Areia média, c) Pedrisco e d) Areia fina.	30
Figura 7. Curva do abatimento versus concentração de poliuretano rígido (PUR) na mistura.	31
Figura 8. Curva da densidade real, aparente e de massa solta versus concentração de poliuretano rígido (PUR) na mistura: a) Faixa 4: 0,60 a 1,18 mm, b) Faixa 3: 1,18 a 2,36 mm, c) Faixa 2: 2,36 a 4,75 mm e d) Faixa 1: 4,75 a 9,5 mm.	33
Figura 9. Curva tensão de ruptura versus concentração de PUR adicionados na mistura de amassamento em amostras de concreto com idade de 3 dias.	34
Figura 10. Curva tensão de ruptura versus concentração de PUR adicionados na mistura de amassamento em amostras de concreto com idade de 7 dias.	36
Figura 11. Curva tensão de ruptura versus concentração de PUR adicionados na mistura de amassamento em amostras de concreto com idade de 28 dias.	37
Figura 12. Curva tensão diametral versus concentração de PUR	

adicionados na mistura de amassamento em amostras de concreto com idade de 28 dias.	38
Figura 13. Curva tensão de flexão versus concentração de PUR adicionados na mistura de amassamento em amostras de concreto com idade de 28 dias.	39
Figura 14. Curva Absorção de água versus concentração de poliuretano rígido adicionados na mistura.	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Destinação atual dos resíduos.	6
Tabela 2. Origem, possíveis classes e responsável pelos resíduos.	10
Tabela 3. Condições de preparação das amostras com substituição de parte dos agregados por PUR.	24
Tabela 4. Separação por faixas do PUR triturado	27
Tabela 5. Distribuição granulométrica dos agregados.	29

SUMÁRIO

RESUMO	vii
ABSTRACT	viii
LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE TABELAS	xi
INTRODUÇÃO	1
1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
1.1. Desenvolvimento Sustentável	3
1.1.1. Classificação dos resíduos	8
1.1.2. Classes dos resíduos	9
1.1.3. Aproveitamento dos resíduos industriais na construção civil	11
1.1.4. Blocos de concreto produzidos com resíduos sólidos	12
1.2 Poliuretano (PUR)	13
1.3 Cimento <i>Portland</i>	13
1.4 Concreto	14
1.5 Compósitos	15
1.6 Misturas de concreto com PUR aplicados à construção civil	16
2. MATERIAIS E MÉTODOS	18
2.1 Materiais Utilizados	18
2.1.1 Descrição das matérias-primas	18
2.1.2 Equipamentos	19
2.2 Procedimento Experimental	19
2.2.1 Caracterização dos materiais	21
2.2.1.1 Caracterização do PUR: adequação granulométrica do PUR	21
2.2.1.2 Caracterização dos agregados	21
2.2.2 Determinação das concentrações de substituição dos agregados por PUR	22
2.2.2.1 Preparação dos amassamentos	22
2.2.2.2 Determinação do traço do concreto	22

2.2.3 Confeção dos corpos de prova	23
2.2.4 Caracterização mecânica dos corpos de prova	25
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
3.1 Caracterização do Poliuretano Rígido (PUR)	27
3.1.1 Caracterização granulométrica do PUR	27
3.1.2 Caracterização por imagem	27
3.2 Caracterização dos Agregados	28
3.2.1 Caracterização granulométrica dos agregados	28
3.2.2 Caracterização por imagem	30
3.3 Caracterização por Slump Test	31
3.4 Caracterização dos Materiais	32
3.5 Caracterização Mecânica dos Corpos de Prova	34
3.5.1 Caracterização por tensão de ruptura	34
3.5.2 Caracterização por tensão diametral	38
3.5.3 Caracterização por flexão	39
3.5.4 Caracterização por absorção de água	40
4. CONCLUSÕES	42
5. PROPOSTA DE TRABALHOS FUTUROS	43
REFERÊNCIAS	44
ANEXO – Trabalhos publicados	

INTRODUÇÃO

Para promover o seu bem estar os seres humanos necessitam de uma produção cada vez maior de bens de consumo. Com o passar do tempo estes bens são descartados, somando-se aos resíduos produzidos durante os processos de obtenção de matéria-prima e de fabricação dos mesmos. É desejada e possível a redução de geração de resíduos durante os processos de produção e pós-consumo, porém sempre ocorrerá a geração de uma determinada quantidade dos mesmos.

O desenvolvimento de novos materiais através da reutilização de resíduos é uma alternativa viável para agregar valor ao processo produtivo e reduzir o impacto ambiental gerado pela deposição dos resíduos em lixões, aterros sanitários e aterros industriais.

As espumas de poliuretano rígido (PUR) são largamente utilizadas na indústria de refrigeração em portas e gabinetes de refrigeradores e *freezers*, devido às suas características: simplicidade da reação para a obtenção do produto final, facilidade de moldagem do material, forte aderência às finas chapas metálicas dos refrigeradores promovendo aumento de resistência estrutural e excelente propriedade de isolamento térmico. Porém, durante este ciclo produtivo ocorre a geração de uma significativa quantidade de resíduos de baixa densidade, que necessitam de um espaço considerável nos aterros para a sua deposição.

O cimento é um material que apresenta um grande consumo mundial e provém de reservas naturais, não renováveis e esgotáveis. Seu uso comum como aglomerante em compósitos com agregados (areia, pedra e água) proporciona grande densidade e resistência a compressão, característica desejável em alguns setores da indústria da construção civil. Por outro lado, alguns setores necessitam de compósitos com pequenas resistências e densidades, tais como: alvenaria de vedação, formas para lajes mistas e materiais para enchimento sem finalidades estruturais.

A utilização de resíduos de PUR em compósitos com cimento/agregados/água possibilita a obtenção de produtos com menor peso específico que é uma característica desejável em alguns importantes setores da indústria da construção civil.

Com base nos argumentos supracitados este projeto propõe uma alternativa ecologicamente correta para a destinação final de resíduos de PUR da indústria de refrigeração e a sua reutilização como carga em compósitos com cimento/agregados/água para utilização na construção civil. O Objetivo do trabalho é de desenvolver compósitos a partir de resíduos de PUR misturados em cimento/agregados/água para uso na construção civil. Neste sentido, os objetivos específicos são: reduzir impactos ambientais gerados pelo descarte de PUR através de sua reutilização em compósitos cimento/agregados/água para uso na construção civil; agregar valor ao resíduo de PUR; utilizar as características físico-químicas pré-existentes no PUR para a obtenção de novas propriedades na mistura convencional cimento/agregados/água; desenvolver novos materiais viabilizando a confecção de novos produtos para utilização na construção civil; identificar a faixa “real” pelo método Slump Test; verificar a granulometria ideal para os compósitos; verificar a resistência do compósito a diferentes condições de tração e estudar a absorção de água pelo compósito.

No Capítulo 1, é apresentada a revisão da literatura abordando temas relacionados com o presente trabalho de dissertação.

No Capítulo 2, é abordada a metodologia utilizada neste trabalho para as confecções dos corpos de prova e ensaios utilizados.

No Capítulo 3, são descritos todos os resultados obtidos com suas devidas discussões.

No Capítulo 4, são apresentadas as conclusões obtidas com a realização deste trabalho de dissertação.

No Capítulo 5, são sugeridos alguns temas para trabalhos futuros.

1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.1. Desenvolvimento Sustentável

Segundo John V.M., (1996) a definição mais aceita para desenvolvimento sustentável é o desenvolvimento capaz de suprir as necessidades da geração atual, sem comprometer a capacidade de atender as necessidades das futuras gerações. Promover o desenvolvimento econômico com sustentabilidade deixou de ser uma utopia para se transformar em uma necessidade do mundo contemporâneo. A parte mais visível desta mudança está nas certificações ambientais, que já vem sendo implementadas no Brasil já há algum tempo, adquirida através do atendimento às normas ISO 14000. No entanto, o que se percebe é de que as mudanças são lentas e por consciente no que diz respeito ao potencial poluidor por parte da indústria brasileira, principalmente as empresas mais antigas, que contribuem com a parcela maior de poluição, vista que precisariam de um auto-investimento em todas as suas dependências para assim atenuarem a poluição no meio ambiente, investirem na despoluição para controlar a emissão de poluentes, o lançamento de efluentes e o depósito irregular de resíduos perigosos (KRAEMER 2007).

Segundo Lerípio (2004), somos uma sociedade marcada por não saber o que fazer com tanto lixo, mas que a reflexão a respeito são muito recentes, e que aos poucos estamos acordando para esta realidade, e que a população vem crescendo menos, que o lixo que ele produz.

De acordo com Kraemer (2004), todo o lixo produzido pelas atividades agrícolas e industriais é tecnicamente conhecido como “resíduo” e os seus geradores são obrigados a cuidar do gerenciamento, transporte, tratamento e destinação final de seus resíduos, e essa responsabilidade deve ser para sempre. O lixo domiciliar é apenas uma pequena quantia de todo o lixo produzido. Neste contexto, a indústria acaba sendo o maior responsável por grande quantidade de resíduos e atende a aumentar ainda mais, principalmente em áreas de elevada concentração industrial. Este tipo de resíduo, que é oriundo de todo processo decorrente de atividades industriais, tais como: sobras de carvão mineral, refugos da indústria metalúrgica, resíduo químico e gás, e principalmente fumaça lançados

pelas chaminés das fábricas, é um dos principais responsáveis pelas agressões nocivas ao meio ambiente. Neste tipo de resíduo, estão incluídos produtos químicos (cianureto, pesticidas, solventes), metais (mercúrio, cádmio, chumbo) e solventes químicos que constantemente interferem e ameaçam os ciclos naturais onde são despejados ou depositados. Os resíduos no estado sólido são amontoados e enterrados; os líquidos são despejados em rios e mares; e os gases são lançados no ar. Desta maneira, a saúde do planeta, e por consequência dos seres que nele vivem, tornam-se ameaçadas, podendo ocorrer grandes catástrofes.

A lei que foi aprovada no início de 1998, a qual estabelece pesadas sanções para os responsáveis que cometerem crimes ambientais, também pode favorecer as empresas que prestam serviços na área de resíduos. Há indícios de empresa que teve aumento em 20 % na demanda por serviços logo após a promulgação da lei. No entanto, este aumento foi de certa forma prejudicado com a emissão da Medida Provisória que ampliou o prazo para que as empresas pudessem ter um maior tempo para se adaptarem à nova legislação (KRAEMER 2004).

De acordo com Queiroz (2005), para uma empresa se tornar responsável deve se preocupar com o gerenciamento de seus resíduos industriais, tendo a consciência que este quando tratado de maneira inadequada poderá acarretar danos ao meio ambiente e à toda sociedade. Neste sentido, esta deverá desenvolver uma correta gestão ambiental de maneira a controlar e gerenciar seus resíduos industriais.

Queiroz (2005) ainda menciona que, as empresas que agem legalmente e contribuem com sua parte para a responsabilidade social e praticam uma boa gestão ambiental estão cientes de muitos benefícios como: Prevenção contra acidentes e riscos de saúde do trabalhador, uma melhor imagem da empresa diante da sociedade adquirida através de investimentos no correto gerenciamento de resíduos industriais, etc.

Além da reutilização de resíduos, tecnologias chamadas de “limpas” são alternativas muito atraentes e já utilizadas pelas empresas. Alguns exemplos destas alternativas são: a substituição do uso de solventes minerais por solventes orgânicos; a substituição do uso do cloro no branqueamento da poupa de celulose por peróxido; a eliminação do uso de sais de cianeto por óleo térmico, etc. Além disso, outras tecnologias já estão sendo aplicadas como:

- O sistema landfarming (fazendas de óleo):, que segundo Passos (2002), consiste na aplicação controlada de resíduos oleosos no solo, a uma taxa de aplicação controlada , de modo a promover sua completa degradação. Esse processo de composição ou mineralização de matéria orgânica natural ou sintética é realizado pelos microorganismos existentes no solo;

- A biolavagem: consiste na lavagem biológica de solos contaminados com orgânicos. A aplicação do resíduo é executada (carrega-se a planta com 60 toneladas) e são feitas as lavagens encaminhando o líquido para tratamento na estação de tratamento de efluentes líquidos e, o sólido decantado, é encaminhado para disposição final no aterro industrial. Para utilização dessa tecnologia o resíduo tem de atender a três condições: Ser solúvel em água; o efluente gerado deve ser passível de tratamento na estação de tratamento de efluentes e o sólido decantado deve ser passível de disposição no aterro industrial.

Queiroz (2005) comenta que, todavia existe um ponto negativo nas questões relativas ao gerenciamento de resíduos industriais que é a falta de informação quando se trata das quantidades de resíduos produzidos, tratados e não tratados assim como diversos sistemas e tecnologias de tratamento disponível no País e muitas delas exigem poucos investimentos na avaliação custo benefício.

Os resíduos se dividem em três classes: Resíduos Perigosos (classe I), resíduos Não-inertes (classe II) e resíduos Inertes (classe III). Se o tratamento não for adequado e bem gerenciado, esses resíduos industriais podem muito bem se transformar em um perigo ambiental (Tabela 1).

A legislação brasileira é extremamente rígida em relação a danos ambientais e estabelece responsabilidade independente de culpa para as empresas geradoras ou proprietárias de terrenos comprovadamente contaminados e assim deverão procurar a melhor solução para esse tipo de contaminação.

Normalmente as principais soluções para resíduos industriais são:

-Aterro Industrial: disposição final no solo, utilizando técnicas específicas de engenharia para assegurar impermeabilização, confinamento e monitoramento. Podem ser de dois tipos: Classe I para resíduos perigosos, e Classe II para resíduos não perigosos;

-Co-processamento: processo de destruição térmica dos resíduos em fornos de produção de cimento, com seu aproveitamento como substitutos de matéria-prima ou combustível;

-Incineração: Processo de oxidação térmica e alta temperatura, que destrói as substâncias orgânicas e reduz o volume dos resíduos.

Tabela 1. Destinação atual dos resíduos

DESTINAÇÃO	QUANTIDADE (toneladas)
Aterros Classe II e III	1.414.000 (83 %)
Aterros Classe I	110.000 (6 %)
Co-processamento	145.000 (9 %)
Incineração	11.000 (1 %)
Outros tratamentos	20.000 (1 %)
Total	1.700.000
Receita bruta	R\$ 270 milhões

Fonte: Queiroz, 2005

De acordo com Passos (2002), toda pressão sobre aqueles que ainda não estão comprometidos com a qualidade ambiental é proveniente da aplicação da legislação ambiental em vigor, pois à medida que a degradação do meio ambiente ultrapasse fronteiras territoriais estará afetando o planeta de uma forma geral. Cada vez é mais freqüente a avaliação do comportamento das empresas com relação a questão ambiental, seja pelos seus clientes, financiadores ou consumidores de seus produtos e/ou serviços, pois uma postura ambiental adequada passa a ser essencial para sua manutenção no mercado de forma competitiva. No entanto, é preciso estabelecer melhores critérios de análise das avaliações realizadas pelos clientes e consumidores das empresas cujos projetos possam produzir impactos negativos ao meio ambiente. Além da preocupação com relação a imagem das empresas, outra mais complexa, envolve aspectos que podem resultar em prejuízos de natureza econômica às instituições financeiras.

Segundo John (2000), os resíduos industriais perigosos são todos os resíduos não possíveis de tratamento convencional, resultantes e do tratamento de seus

efluentes, que por suas características, apresentam periculosidade efetiva ou potencial à saúde humana ou ao meio ambiente.

De acordo com as recentes pesquisas, e com uma nova visão de gestão de resíduos, procura-se prioridades de objetivos definidos como: reduzir a geração do resíduo na fonte, reutilizar o resíduo, reciclar, incinerar recuperando a energia e depositar em aterros sanitários e industriais. Estas formas utilizadas são questionáveis, pois neste contexto em que estamos vivendo, frente ao grande desafio, temos de causar o menor impacto possível no meio ambiente global. E nesta perspectiva de que a geração de resíduo é inevitável por diversos aspectos, o processo de reutilização passa a ser visto como condição fundamental para o desenvolvimento sustentável, pois ela que permite fechar o ciclo de produção.

Ângulo *et. al.*, (1998 apud SIQUEIRA, 2006), comenta sobre outros benefícios da reutilização de materiais como: redução no consumo de recursos naturais não renováveis, observando a oportunidade de preservação e prolongamento da vida útil dos mesmos, redução do volume de aterros e incineração é conseqüente prolongação do tempo de utilização, redução do consumo de energia durante o processo de produção, redução da poluição, aumento da geração de emprego e renda para a população não qualificada, aumento da competitividade na economia, visto que os produtos gerados a partir dos reciclados são comercializados em paralelo àqueles gerados a partir de matérias-primas virgens, melhora a limpeza da cidade e a qualidade de vida da população, entre outras.

De acordo com John (1996), as pesquisas científicas envolvidas com a reutilização de resíduos adquirem um papel fundamental neste processo pela busca da sustentabilidade. Torna-se importante destacar estudo da viabilidade do reuso de determinado resíduo e da definição de uma metodologia para desenvolvimento de um produto, visto que este deve gerar algum tipo de lixo ou material reciclável. A reutilização de resíduos, assim como outras atividades humanas também podem causar impactos ao meio ambiente. O cuidado com o tipo de resíduo, a tecnologia empregada e a utilização proposta para o material reciclado, podem tornar o processo de reuso ainda mais importante do que o próprio resíduo antes de ser reciclado.

1.1.1. Classificação dos resíduos

Segundo Ambiental Brasil (2007), os resíduos são classificados de acordo com:

-Características físicas: no estado seco - papéis, plásticos, metais, couros tratados, tecidos, vidros, madeiras, guardanapos e tolhas de papel, pontas de cigarro, isopor, lâmpadas, parafina, cerâmicas, porcelana, espumas, cortiças; no estado molhado - restos de comida, cascas e bagaços de frutas e verduras, ovos, legumes, alimentos estragados, etc;

-Composição química: Orgânico - é composto por pó de café e chá, cabelos, restos de alimentos, cascas e bagaços de frutas e verduras, ovos, legumes, alimentos estragados, ossos, aparas e podas de jardim; Inorgânico - composto por produtos manufaturados como plásticos, vidros, borrachas, tecidos, metais (alumínio, ferro, etc.), tecidos, isopor, lâmpadas, velas, parafina, cerâmicas, porcelana, espumas, cortiças, etc;

-Característica de origem: Domiciliar - originado da vida diária das residências, constituído por restos de alimentos (tais como cascas de frutas, verduras, etc.), produtos deteriorados, jornais, revistas, garrafas, embalagens em geral, papel higiênico, fraldas descartáveis e uma grande diversidade de outros itens. Podem conter alguns resíduos tóxicos; Comercial - originado dos diversos estabelecimentos comerciais e de serviços, tais como supermercados, estabelecimentos bancários, lojas, bares, restaurantes, etc.; Serviços públicos - originados dos serviços de limpeza urbana, incluindo todos os resíduos de varrição das vias públicas, limpeza de praias, galerias, córregos, restos de podas de plantas, limpeza de feiras livres, etc, constituído por restos de vegetais diversos, embalagens, etc.; Hospitalar - descartados por hospitais, farmácias, clínicas veterinárias (algodão, seringas, agulhas, restos de remédios, luvas, curativos, sangue coagulado, órgãos e tecidos removidos, meios de cultura e animais utilizados em testes, resina sintética, filmes fotográficos de raios X). Em função de suas características, merece um cuidado especial em seu acondicionamento, manipulação e disposição final. Deve ser incinerado e os resíduos levados para aterro sanitário; Portos,

aeroportos, terminais rodoviários e ferroviários - resíduos sépticos, ou seja, que contêm ou potencialmente podem conter germes patogênicos. Basicamente originam-se de material de higiene pessoal e restos de alimentos, que podem hospedar doenças provenientes de outras cidades, estados e países; Industrial - originado nas atividades dos diversos ramos da indústria, tais como: o metalúrgico, o químico, o petroquímico, o de papelaria, da indústria alimentícia, etc (AMBIENTAL BRASIL, 2007). O lixo industrial é bastante variado, podendo ser representado por cinzas, lodos, óleos, resíduos alcalinos ou ácidos, plásticos, papel, madeira, fibras, borracha, metal, escórias, vidros, cerâmicas. Nesta categoria, inclui-se grande quantidade de lixo tóxico. Esse tipo de lixo necessita de tratamento especial pelo seu potencial de envenenamento; Radioativo - resíduos provenientes da atividade nuclear (resíduos de atividades com urânio, cézio, tório, radônio, cobalto), que devem ser manuseados apenas com equipamentos e técnicas adequados; Agrícola - resíduos sólidos das atividades agrícola e pecuária, como embalagens de adubos, defensivos agrícolas, ração, restos de colheita, etc. O lixo proveniente de pesticidas é considerado tóxico e necessita de tratamento especial; Entulho - resíduos da construção civil, demolições e restos de obras, solos de escavações. O entulho é geralmente um material inerte, passível de reaproveitamento.

1.1.2. Classes dos resíduos

A Associação Brasileira de Normas Técnicas ABNT publicou no dia 31 de maio de 2004 a nova versão da norma NBR 10.004 - Resíduos Sólidos. Esta Norma classifica os resíduos sólidos quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública, para que possam ser gerenciados adequadamente.

Nas atividades de gerenciamento de resíduos, a NBR 10.004 se torna uma ferramenta imprescindível, sendo aplicada por instituições e órgãos fiscalizadores. A partir da classificação estipulada pela Norma, o gerador de um resíduo pode facilmente identificar o potencial de risco do mesmo, bem como identificar as

melhores alternativas para destinação final e/ou de reutilização. Esta nova versão classifica os resíduos em três classes distintas:

- Classe I - Resíduos perigosos: são aqueles que apresentam riscos à saúde pública e ao meio ambiente, exigindo tratamento e disposição especiais em função de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade;
- Classe II - Resíduos não-inertes: são os resíduos que não apresentam periculosidade, porém não são inertes; podem ter propriedades tais como: combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade em água. São basicamente os resíduos com as características do lixo doméstico;
- Classe III - Resíduos inertes: são aqueles que, ao serem submetidos aos testes de solubilização não têm nenhum de seus constituintes solubilizados em concentrações superiores aos padrões de portabilidade da água. Isto significa que a água permanecerá potável quando em contato com o resíduo. Muitos destes resíduos são recicláveis. Estes resíduos não se degradam ou não se decompõem quando dispostos no solo (se degradam muito lentamente). Estão nesta classificação, por exemplo, os entulhos de demolição, pedras e areias retirados de escavações.

NA Tabela 2 são apresentados a origem, classes e os responsáveis pela correta destinação dos resíduos.

Tabela 2. Origem, possíveis classes e responsável pela destinação dos resíduos.

Origem	Possíveis Classes	Responsável
Domiciliar	2	Prefeitura
Comercial	2, 3	Prefeitura
Industrial	1, 2, 3	Gerador do resíduo
Público	2, 3	Prefeitura
Serviços de saúde	1, 2, 3	Gerador do resíduo
Portos, aeroportos e terminais ferroviários	1, 2, 3	Gerador do resíduo
Agrícola	1, 2, 3	Gerador do resíduo
Entulho	3	Gerador do resíduo

Fonte: Ambiental Brasil (2007)

Para tratar a questão dos resíduos industriais, o Brasil possui legislação e normas específicas. Pode-se citar a Constituição Brasileira em seu Artigo 225, que dispõe sobre a proteção ao meio ambiente; a Lei 6.938/81, que estabelece a Política Nacional de Meio Ambiente; a Lei 6.803/80, que dispõe sobre as diretrizes básicas para o zoneamento industrial em áreas críticas de poluição; as resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA 257/263 e 258, que dispõem respectivamente sobre pilhas, baterias e pneumáticos e, além disso, a questão é amplamente tratada nos Capítulos 19, 20 e 21 da Agenda 21 (Rio-92).

1.1.3. Aproveitamento dos resíduos industriais na construção civil

Verifica-se na construção civil um exemplo de que é possível utilizar a reutilização de resíduos provenientes de outras indústrias. O setor já utiliza os resíduos como a escória granulada de alto forno e cinza que é incorporada rotineiramente nas construções.

Todavia, a possibilidade de redução dos resíduos gerados nos diferentes processos produtivos encontram algumas dificuldades no que diz respeito ao processos técnicos objetivos, pois a política vigente no momento de proteção ambiental é voltada para deposição controlada dos resíduos. No entanto, esta política é no mínimo questionável, pois apresenta diversos limites e cabe refletir que vivemos num pequeno planeta, super habitado, com recursos limitados, alguns renováveis e outros não. Estes aterros controlados são desperdícios por tempo indeterminado de um recurso limitado, tal como o solo. Além disso, concentram-se enormes quantidades de resíduos perigosos sempre sujeitos a acidentes de graves consequências. Para controlar o risco de acidentes, a normalização destes aterros tem recebido aperfeiçoamentos constantes. Estes aperfeiçoamentos tem levado o preço destes serviços a valores muitas vezes insuportáveis, que facilmente ultrapassam a US\$100 / tonelada na grande São Paulo. Este custo é um fator de limitação da qualquer política por várias razões, dentre as quais pode-se destacar o fato de tornar as empresas geradoras de resíduos "inimigas" destas políticas (JOHN, 1987).

1.1.4. Blocos de concreto produzidos com resíduos sólidos

Alguns especialistas concordam que o futuro da atividade está fortemente ligado a um aumento de qualidade, reduzindo custos, prazos e desperdícios. A utilização de pré-fabricados supre essas necessidades. Estes pré-fabricados são elementos construtivos produzidos de maneira industrial e em larga escala, dentro ou fora de sua posição definitiva de utilização e com economia de tempo e material (SAYEGH, 2005 apud SIQUEIRA, 2006). Dentre todos os elementos pré-fabricados, a fabricação de blocos de concreto destaca-se pela funcionalidade e facilidade de fabricação. O reaproveitamento de resíduos como agregados para produção dos blocos une a tendência da industrialização na construção civil com a busca do desenvolvimento sustentável dos meios de produção nesta área.

De acordo com Ângulo (1998 apud SIQUEIRA, 2004) a utilização do entulho das edificações como agregado para a fabricação de blocos de concreto utilizados em vedação, tem se mostrado uma alternativa altamente adequada e promissora, sendo sua utilização já adotada em algumas prefeituras de cidades brasileiras. Esta aplicação apresenta inúmeras vantagens como:

- Os blocos de vedação não necessitam de grandes resistências mecânicas, pois sua principal função é vedar;
- Nos casos em que os baixos consumos de cimento são exigidos, a diferença de resistência à compressão dos concretos plásticos reciclados é igual quando comparada com concretos de agregados naturais;
- Geralmente blocos com estes agregados apresentam custos consideravelmente baixos, benefício este, que pode contribuir com soluções tecnológicas mais baratas, já que os traços exigem grande quantidade de agregados;
- A regularidade de dimensões dos blocos produzidos pode fornecer um material modular, que se adapte as necessidades atuais de menores índices de desperdício na construção.

Vários setores diferentes vêm desenvolvendo projetos que utilizam a reutilização de resíduos na fabricação de blocos de concreto. Por várias razões (responsabilidade social, sustentabilidade, déficit habitacional, entre outros), instituições como a iniciativa privada e o governo vêm buscando soluções

inovadoras e eficazes. Diante destas iniciativas, através da pesquisa científica, surgem novos trabalhos que estudam a possibilidade destes projetos:

Foi avaliado o uso de entulhos como agregados para a obtenção de blocos de concreto em uma dissertação de mestrado desenvolvida no Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília em 2001. Neste estudo foi avaliada a influência da composição granulométrica dos agregados e a proporção cimento: usagregado. Após este estudo, os resultados obtidos indicaram a considerável influência da composição granulométrica nas grandezas avaliadas, a redução da resistência mecânica com a adição do entulho, o aumento da absorção de água; entre outros. Porém alguns pesquisadores se mostraram à favor do uso de entulho na composição de blocos (SOUSA, 2001 apud SIQUEIRA, 2006).

1.2 Poliuretano (PUR)

O poliuretano é um tipo de material composto por isocianato (normalmente MDI polimérico) e por um ou mais polióis e demais aditivos tais como: surfactantes, retardantes de chama, catalizadores e reticuladores de cadeia que podem ser a glicerina ou a trietanolamina. A combinação destes elementos produz um tipo de espuma rígida a que chamamos de poliuretano. Sua estrutura é composta por células fechadas que acaba contribuindo para a rigidez da estrutura. Além disso, a condutividade térmica do gás retido nestas células fechadas é o principal fator nas propriedades isolantes da espuma (VILAR 2000).

1.3 Cimento *Portland*

O cimento *Portland* é resistente a sulfatos e tem alta reatividade em baixas idades (7 dias) em função do grau de moagem a que é submetido. Segundo Bauer (2004) o *clinker*, minério que dá origem ao cimento, é o mesmo utilizado para a

fabricação de um cimento convencional, mas permanece no moinho por um tempo mais prolongado. O cimento continua ganhando resistência até os 28 dias, atingindo valores mais elevados que os demais, proporcionando maior rendimento ao concreto. É largamente utilizado em produção industrial de artefatos, concreto protendido pré e pós-tensionado, pisos industriais, argamassa armada e concreto dosado em central. Sua resistência a sulfatos é devida à adição de cinza pozzolânica e é comprovada por ensaios laboratoriais, tornando-o indicado para a produção de estruturas em ambientes agressivos (Companhia de Cimento ITAMBÉ, 2008).

As reações químicas que ocorrem no sistema de fornos de cimento e os produtos da hidratação do cimento são mostradas na Figura 1.

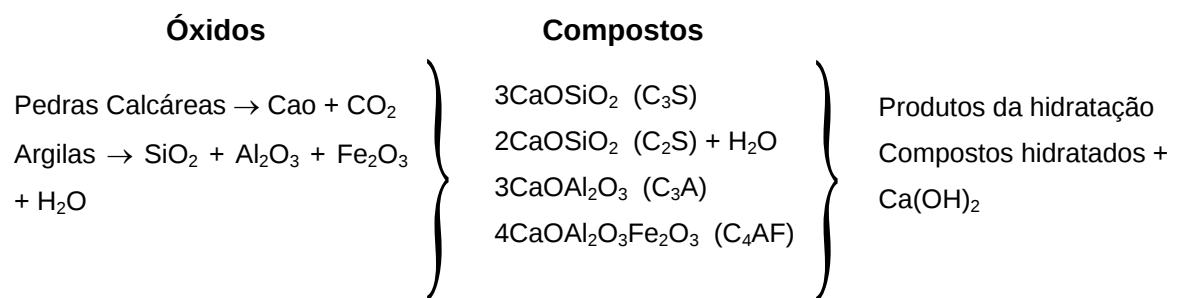


Figura 1: Reações químicas presentes desde a fabricação até a hidratação do cimento *Portland* (SIQUEIRA et al., 2004).

1.4 Concreto

De acordo com Bauer (2004), concreto é basicamente o resultado da mistura de cimento, água, pedra e areia, sendo que o cimento ao ser hidratado pela água forma uma pasta resistente e aderente aos fragmentos de agregados (pedra e areia), formando um bloco monolítico.

A proporção entre todos os materiais que fazem parte do concreto é também conhecida por dosagem ou traço, sendo que podemos obter concretos com

características especiais, ao acrescentarmos à mistura, aditivos, isopor, pigmentos, fibras ou outros tipos de adições (PATON, 2005).

Outro ponto de destaque no preparo do concreto é o cuidado que se deve ter com a qualidade e a quantidade da água utilizada, pois ela é a responsável por ativar a reação química que transforma o cimento em uma pasta aglomerante. Se sua quantidade for muito pequena, a reação não ocorrerá por completo e se for superior a ideal, a resistência diminuirá em função dos poros que ocorrerão quando este excesso evaporar (BAUER, 2004; PATON, 2005).

Bauer também menciona que a relação entre o peso da água e do cimento utilizados na dosagem é chamada de fator água/cimento (a/c).

O concreto deve ter uma boa distribuição granulométrica a fim de preencher todos os vazios, pois a porosidade por sua vez tem influência na permeabilidade e na resistência das estruturas de concreto (BAUER, 2004; PATON, 2005).

1.5 Compósitos

Os compósitos são materiais desenvolvidos por meio da combinação de dois ou mais componentes distintos, de maneira a alcançar uma melhor combinação de propriedades. Muitas tecnologias modernas requerem materiais com propriedades incomuns que não podem ser atendidas por materiais convencionais, ligas metálicas ou cerâmicas (CALLISTER, 2002).

Segundo Amico (2006), um compósito deve atender a alguns critérios, como por exemplo, ser constituído por dois ou mais materiais insolúveis, ou seja, de manter sua identidade no material final, mas com formas e/ou propriedades distintas. As propriedades finais dos compósitos devem ser necessariamente diferentes das de seus materiais constituintes, que devem estar presentes em proporções razoáveis (no mínimo 5 %); e as diferentes fases devem estar separadas por uma interface de escala microscópica.

1.6 Misturas de concreto com PUR aplicados à construção civil

Alguns estudos já vem sendo realizados com o intuito de viabilizar o reuso de PUR em misturas de materiais utilizados na construção civil.

Santos filho *et. al.* (2002) estudaram a viabilidade do aproveitamento do PUR reciclado como adição ao concreto de cimento *Portland* para fabricação de blocos de concreto. O traço utilizado para a confecção dos blocos de referência foi 1:1,84:3,69:0,49 sendo cimento, areia, pedrisco e água, respectivamente. Também foram confeccionados blocos com o mesmo traço adicionados com 5 % de PUR triturado em uma única granulometria. Foi verificado que com a adição do PUR, o concreto teve um aumento de volume e uma relativa perda de resistência. Com o aumento do volume da mistura, o consumo de cimento que era de 450 Kg/m³, baixou para 357 Kg/m³. O peso também sofreu redução, em torno de 8 %. Os blocos atingiram aos 3 dias uma média de 5,9 MPa com 5 % de adição de PUR.

Grijó (2004) também estudou a viabilidade de utilização de resíduo de PUR, proveniente da indústria de fabricação de pranchas de surf, como substituto da areia na fabricação de blocos de concreto para construção civil. Foram confeccionados 2 tipos de blocos denominados ECO I (substituição de 7 % da areia por resíduo de PUR) e ECO II (substituição de 17 % da areia por resíduo de PUR). Os resultados obtidos para o ECO I de 8,3 MPa permite a sua utilização como blocos com fins estruturais, e os resultados obtidos para o ECO II de 3,9 MPa permite a sua utilização como blocos sem fins estruturais.

Outro estudo sobre a utilização de resíduos de PUR, proveniente da indústria de refrigeração, como carga em blocos de concreto para construção civil foi realizado por Siqueira *et. al.* (2004). Os resultados obtidos demonstraram que é possível a incorporação de até 5 % de PUR 2 (poliuretano rígido com densidade aparente 0,0346 g/cm³, e módulo de finura 2,33) em blocos com a finalidade estrutural, e até 5 % de PUR 3 (poliuretano rígido com densidade aparente 0,0302 g/cm³, e módulo de finura 2,88) em blocos sem a finalidade estrutural. A redução de peso para as duas granulometrias estudadas ficou em torno de 11,30 %.

Santos (2007) estudou a viabilidade de inserir resíduos de PUR como carga em compósitos de cimento utilizados para a fabricação de blocos de concreto. Foi

utilizada 3 granulometrias de PUR (GROSSA, com valor médio das partículas igual a 7 mm, MÉDIA - com valor médio das partículas igual a 3 mm , e FINA - com valor médio das partículas igual a 1 mm). Os traços utilizados foram de 3:1 (areia, cimento), e 3:1:1 (areia, cimento e resíduo de PUR, respectivamente). Os resultados obtidos pelas amostras sem adição de PUR apresentaram resistência de 25,6 MPa e as demais amostras com adição de PUR com granulometria grossa, média e fina apresentaram valores de 16,6 MPa, 15,2 MPa e 16,4 MPa, respectivamente. Estes resultados demonstraram a viabilidade da utilização de concreto com a adição de resíduos de PUR para a fabricação de blocos de concreto para fins estruturais.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste trabalho é proposto o estudo da reutilização de resíduos de PUR em compósitos (PUR/cimento/agregados/água) para o desenvolvimento de novos produtos para a indústria da construção civil.

Segue abaixo uma abordagem sobre a metodologia que foi empregada para sua realização. Primeiramente apresentam-se os materiais e equipamentos utilizados, na seqüência, a metodologia empregada e os testes de caracterização que foram realizados nos corpos de prova confeccionados com a nova mistura.

2.1 Materiais Utilizados

2.1.1 Descrição das matérias-primas

O cimento (aglomerante hidráulico) utilizado na confecção do concreto foi o cimento *Portland* CIMPOR CP-II E32, fornecido pela Companhia de Cimento ITAMBÉ e fabricado de acordo com as recomendações da Norma Técnica Brasileira NBR 5.733. Este cimento é indicado para estruturas que estejam expostas a ataques químicos provenientes do meio ambiente e para aplicações que necessitem de moderadas resistências à compressão nas primeiras idades, como: artefatos de cimento, blocos de concreto, concreto protendido, estruturas de concreto em geral, argamassas de assentamento e revestimento.

Todo o cimento utilizado foi proveniente da mesma partida de fabricação, ou seja, pertenciam ao mesmo lote, visando com isto eliminar problemas de variações que poderiam acarretar mudanças no comportamento dos concretos.

Foram utilizados 4 tipos de agregados: “areia fina”, coletado no Rio Itajaí Açu, na cidade de Ilhota – SC; “areia média” coletado na cidade de Araquari – SC; “pedrisco” e “pó de pedra com pedrisco” fornecidos pela Pedreira Vale do Selke, Blumenau – SC.

O PUR, em formato de chapas de tamanhos variados, é proveniente das sobras do processo de fabricação de refrigeradores (enchimento do corpo e da porta de refrigeradores).

A água de amassamento utilizada foi da rede de abastecimento de água potável da empresa concessionária local, denominada “Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto – SAMAE” do município de Blumenau.

2.1.2 Equipamentos

Todos os equipamentos necessários para a confecção dos corpos-de-prova, bem como sua caracterização, estão alocados no laboratório TESTECON Análise Laboratorial de Solo, Concreto e Asfalto, situado na cidade de Blumenau-SC.

2.2 Procedimento Experimental

Foi utilizado um procedimento experimental (Figura 2) que teve papel fundamental na execução e análise das novas propriedades mecânicas obtidas a partir de concreto com adição de poliuretano rígido.

Na Figura 2 está apresentado um fluxograma deste procedimento experimental resumido utilizado e, em seguida, as etapas em detalhes.

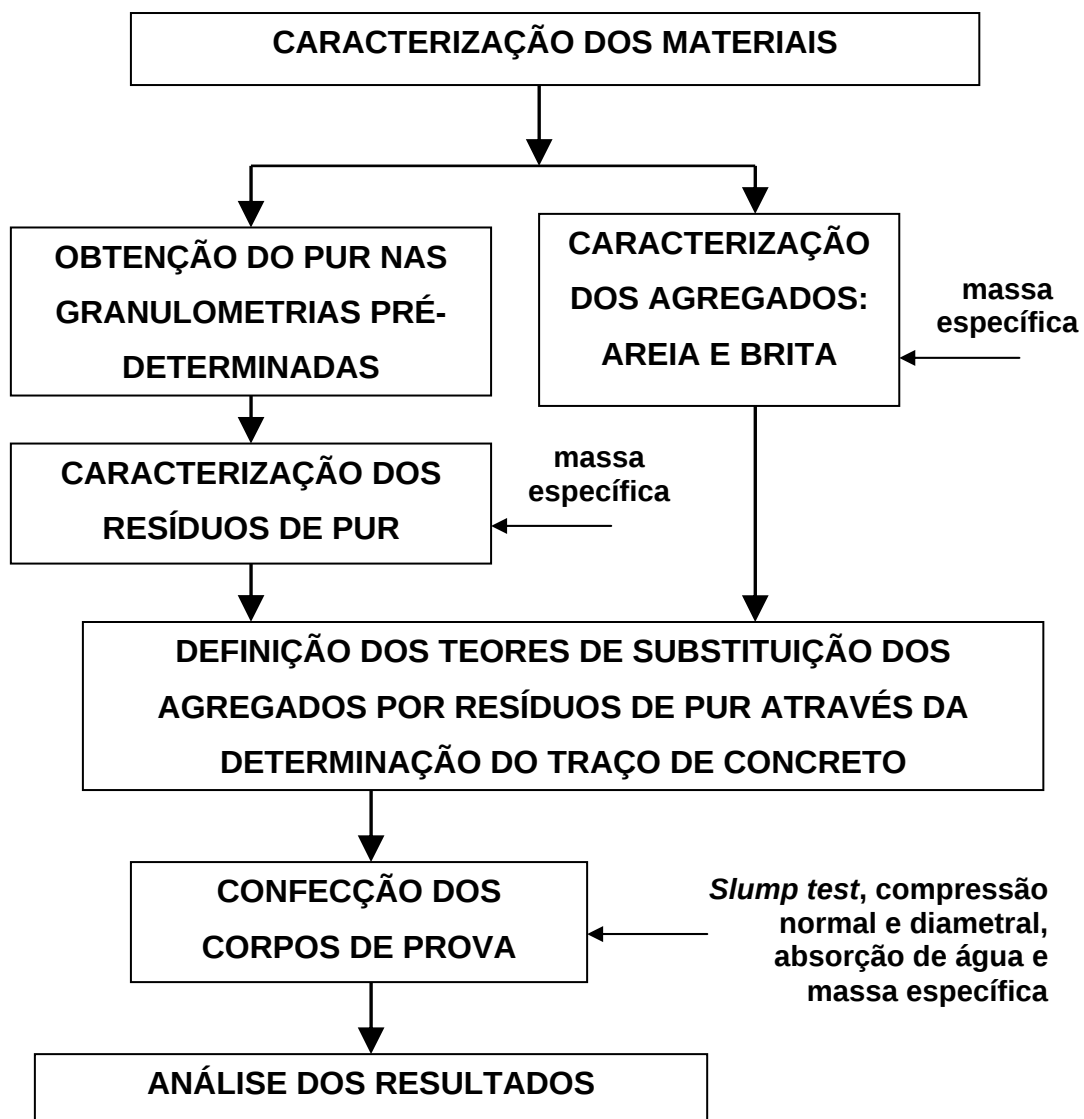


Figura 2. Fluxograma do procedimento experimental utilizado.

2.2.1 Caracterização dos Materiais

2.2.1.1 Caracterização do PUR: adequação granulométrica

Para adequar granulometricamente os resíduos de PUR, que se encontrava inicialmente no formato de chapas com tamanhos variados, fragmentou-se estes resíduos com a utilização de um triturador Forrageiro marca TRAPP, modelo TRF-400, com motor elétrico de 3,0 cv e Tensão de 220 V. Subseqüentemente, realizou-se o processo de peneiramento, utilizando peneiras para ensaios de mecânica de solos marca SOLOTEST, atendendo aos requisitos da norma NBR NM-ISO 3310-1. Todo o material foi peneirado e classificado granulometricamente.

A série normal de peneiras utilizadas foram: 0,15; 0,3; 0,6; 1,2; 2,4; 4,8; 6,3 e 9,5 mm. As partículas referente a cada faixa granulométrica foram fotografadas.

Foram também determinados os valores de massa específica das amostras de PUR fazendo-se uso da norma NBR NM 52.

2.2.1.2 Caracterização dos agregados

Foi realizado o quarteamento de cada um dos agregados: pó de pedra, areia média, pedrisco e areia fina, segundo a norma NBR NM 26 para garantir o uso de quantidades de amostras representativas.

Estes materiais utilizados como agregados tiveram suas características determinadas segundo as seguintes normas: NBR NM46 (teor de material pulverulento), NBR NM 52 (massa específica), NBR NM 52 (massa específica aparente) e a NBR NM 248 (distribuição granulométrica).

As quantidades utilizadas de cada um dos agregados, proporcionalmente no traço de concreto, foram as mesmas convencionalmente utilizadas por uma empresa de confecção de blocos da região. Os valores utilizados são:

- Pó de pedra 40 %vol.;
- Areia média 40 %vol.;
- Pedrisco 10 %vol.; e
- Areia fina 10 %vol..

2.2.2 Determinação das concentrações de substituição dos agregados por PUR

2.2.2.1 Preparação dos amassamentos

Em cada amassamento foram utilizados porcentagens de 10, 20, 30 e 40 %vol. de poliuretano rígido em substituição à mesma quantidade em volume de agregados.

2.2.2.2 Determinação do traço do concreto

O traço calculado e utilizado em todas as amostras foi de 1; 6 e 0,8 para cimento, agregados e água, respectivamente. Este traço foi ajustado com a realização do teste por *Slump Test* utilizando o amassamento com substituição dos agregados pela maior concentração de poliuretano rígido.

Os ensaios por *Slump Test* foram realizados com os equipamentos (tronco de cone, base e haste de socamento) que segue os preceitos da NBR NM67 – Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone.

2.2.3 Confeção dos corpos-de-prova

A preparação do concreto foi feita seguindo os procedimentos descritos na NBR 12821 – Preparação de concreto em laboratório. O equipamento utilizado foi a betoneira de 120 litros.

O tempo de pega foi de 2 min, determinado conforme a NBR NM 65 – Determinação dos tempos de pega do cimento *Portland*.

A consistência do concreto, que é um dos principais fatores que influenciam na trabalhabilidade do mesmo, foi determinada através do ensaio de abatimento do concreto, conforme descrito no item 2.2, conhecido como *slump test*, e seguirá os preceitos da NBR NM 65 – Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone;

A confecção dos corpos de prova foi realizada colocando 3 camadas de mistura de mesmo volume aplicando 25 golpes com soquete padrão em cada camada, de acordo com as recomendações da NBR 5738 – moldagem e cura dos corpos de prova cilíndricos ou prismáticos de concreto. O procedimento para a moldagem dos corpos-de-prova cilíndrico são ilustrados na Figura 3.



a)



b)

Figura 3. Moldagem dos corpos-de-prova conforme a NBR 5738. a) colocação do concreto no molde, com o auxílio de concha, b) adensamento com a utilização de haste de socamento.

Para cada faixa granulométrica de PUR, (Tabela 3), foram confeccionados um total de 5 corpos de prova, para cada um dos seguintes teores de substituição de agregados convencionais por resíduos de PUR: 10, 20, 30 e 40 %vol. (quantidade de resíduos utilizados em substituição, mas na mesma proporção volumétrica, dos agregados). Além disso, as amostras foram separadas por tempo de cura de 3, 7 e 28 dias para serem ensaiadas posteriormente.

Tabela 3. Condições de preparação das amostras com substituição de parte dos agregados por PUR.

Concentração Cimento/ agregados/água	Tempo de Cura (dias)	Granulometria PUR (mm)	Concreto	Densidade real (kg/dm³)	Quantidades equivalentes por concentrações de PUR na mistura de concreto (%vol. em litros)					Relação %vol. PUR (L) (peso PUR (Kg)) adicionado completando 50 L de mistura	Quantidades de amostras
					0 % PUR	10 % PUR	20 % PUR	30 % PUR	40 % PUR		
1,0 / 6,0 / 0,8	3, 7 e 28	4,75 a 9,5	Cimento	1,5	8,9					10 % (0,12) 20 % (0,24) 30 % (0,36) 40 % (0,49)	75
			Agregados	2,643	30,4	27,4	24,3	21,3	18,3		
			Água	1,0	10,69						
			PUR	0,022	0	0,23	0,46	0,68	0,91		
		2,36 a 4,75	Cimento	1,5	8,9					10 % (0,08) 20 % (0,16) 30 % (0,25) 40 % (0,33)	75
			Agregados	2,643	30,4	27,4	24,3	21,3	18,3		
			Água	1,0	10,69						
			PUR	0,027	0	0,23	0,46	0,68	0,91		
		1,18 a 2,36	Cimento	1,5	8,9					10 % (0,09) 20 % (0,17) 30 % (0,26) 40 % (0,34)	75
			Agregados	2,643	30,4	27,4	24,3	21,3	18,3		
			Água	1,0	10,69						
			PUR	0,028	0	0,23	0,46	0,68	0,91		
		0,6 a 1,18	Cimento	1,5	8,9					10 % (0,12) 20 % (0,24) 30 % (0,36) 40 % (0,49)	75
			Agregados	2,643	30,4	27,4	24,3	21,3	18,3		
			Água	1,0	10,69						
			PUR	0,04	0	0,23	0,46	0,68	0,91		
Total de amostras											300

2.2.4 Caracterização mecânica dos corpos-de-prova

Todos os corpos de prova confeccionados, (Tabela 3), com os compósitos obtidos foram submetidos a ensaio de compressão, realizados de acordo com a norma NBR 5739. O equipamento utilizado (Figura 4) foi uma máquina universal, EMIC, alocada na empresa Testecon Análise Laboratorial de solo, Concreto e Asfalto, na cidade de Blumenau – SC. Os corpos-de-prova foram ensaiados com idades de 3, 7 e 28 dias.



Figura 4. Equipamento de ensaio de compressão alocado na empresa Testecon Análise Laboratorial de solo, na cidade de Blumenau – SC.

A resistência a tração foi determinada através da metodologia prevista na NBR 07222 - Argamassa e Concreto - Determinação da resistência a tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. O equipamento foi o mesmo utilizado para os ensaios de compressão (Figura 4).

Foram também realizadas análises por absorção de água e por flexão em quatro pontos. O teor de absorção de água consistiu da imersão das amostras em água por um determinado tempo, suficiente para promover a condição de saturação das mesmas. Os pesos destas amostras foram medidos antes e depois da imersão permitindo que se determine o teor percentual de absorção de água.

Para o ensaio por flexão em quatro pontos foram construídas amostras conforme norma NBR 12142.

Para a determinação da massa específica dos corpos-de-prova confeccionados para o ensaio de compressão normal, todos estes exemplares foram pesados antes de serem submetidos ao ensaio.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Caracterização do Poliuretano Rígido (PUR)

3.1.1 Caracterização granulométrica do PUR

As características granulométricas do PUR triturado e separado, conforme item 2.2.1.1, são apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4. Separação por faixas do PUR triturado

PUR	Passa na peneira (mm)	Retido na peneira (mm)
Faixa 1	9,50	4,75
Faixa 2	4,75	2,36
Faixa 3	2,36	1,18
Faixa 4	1,18	0,60

3.1.2 Caracterização por imagem

As partículas referente a cada faixa granulométrica, descrita na Tabela 4, são apresentadas na Figura 5. Verifica-se uma boa distribuição de tamanhos em cada faixa granulométrica separada. No entanto, para a Faixa 1 e Faixa 2 (Figura 5a e b) a diferença de tamanhos é bem maior que as encontradas nas Faixa 3 e 4 (Figura 5c e d). Esta característica é resultante da própria escolha das peneiras. Além disso, as Faixas 1 e 2 também mostraram formatos bastante irregulares quando comparados com as partículas referente as Faixas 3 e 4.



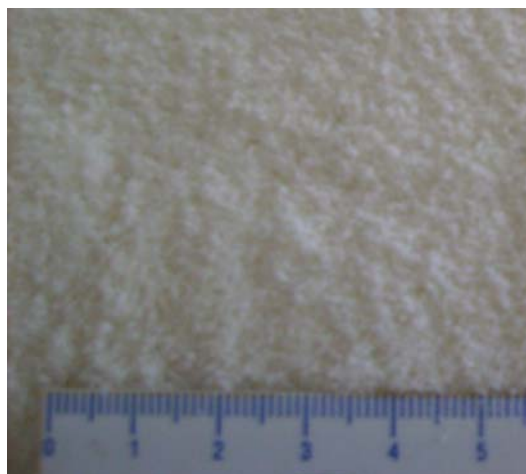
a)



b)



c)



d)

Figura 5. Imagem do poliuretano rígido triturado e separado nas faixas granulométricas; a) Faixa 1: 9,50 a 4,75 mm, b) Faixa 2: 4,75 a 2,36 mm, c) Faixa 3: 2,36 a 1,18 mm e d) Faixa 4: 1,18 a 0,60 mm.

3.2 Caracterização dos Agregados

3.2.1 Caracterização granulométrica dos agregados

Os valores resultantes dos ensaios de caracterização granulométrica dos agregados utilizados para o desenvolvimento desta pesquisa são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5. Distribuição granulométrica dos agregados.

Agregado		Areia fina		Areia média		Pó com pedrisco		Pedrisco	
Estudo		%Ret	%Acu	%Ret	%Acu	%Ret	%Acu	%Ret	%Acu
Abertura das peneiras (mm)	6,3	-	-	0,56	0,56	-	-	-	-
	4,8	-	-	0,79	1,35	1,26	1,26	7,56	7,56
	2,4	-	-	4,08	5,43	28,53	29,79	77,92	85,48
	1,2	0,57	0,57	11,47	16,90	24,63	54,42	8,97	94,45
	0,6	10,64	11,21	30,23	47,13	16,86	71,28	2,15	96,60
	0,3	22,29	33,50	27,22	74,35	7,83	79,11	0,77	97,37
	0,15	51,06	84,56	12,76	87,11	6,67	85,78	0,67	98,04
	Fundo	15,44	100,00	12,89	100,00	14,22	100,00	1,96	100,00
Módulo finura		1,29		2,62		3,22		4,80	
% Pulverulento		1,37		4,32		10,69		1,80	
Massa específica		2,63		2,60		2,66		2,68	
Massa específica aparente		1,42		1,43		1,496		1,286	

%Ret: porcentagem retida na peneira

%Acu: porcentagem acumulada na peneira

Segundo resultados apresentados na Tabela 5, verifica-se que a areia média foi a única que apresentou pequena porcentagem de partículas de tamanhos superiores a 6 mm. A areia fina apresenta maior concentração de partículas próxima de 0,15 mm de tamanho, enquanto que os demais agregados, areia média, pó com pedrisco e pedrisco, apresentaram uma maior concentração de partículas de tamanhos de 0,6 mm, 2,4 mm e 2,4 mm, respectivamente.

3.2.2 Caracterização por imagem

Como podem ser visto na Figura 6, as partículas dos agregados, mostraram tamanhos homogêneos. No entanto, as partículas de Pedrisco (Figura 6a) foram os que apresentaram maiores diferenças em tamanhos quando comparado com as demais (Figura 6b, c e d).



a)



b)



c)



d)

Figura 6. Imagem dos agregados utilizados no amassamento: a) Pedrisco, b) Pós de Pedra, c) Areia Média e d) Areia fina.

3.3 Caracterização por *Slump Test*

Foram realizados testes por *Slump Test* utilizado com a finalidade de se chegar ao traço de concreto adequado para cada mistura fazendo a devida substituição de agregados por poliuretano rígido. A Figura 7 apresenta as curvas de abatimento das amostras, preparadas conforme Tabela 3, sem tempo de cura, em função da porcentagem em volume de poliuretano rígido na mistura de concreto em substituição de parte dos agregados. A mistura de concreto de referência, conforme descrito na Tabela 3, o valor de abatimento se deu em torno de 5 cm.

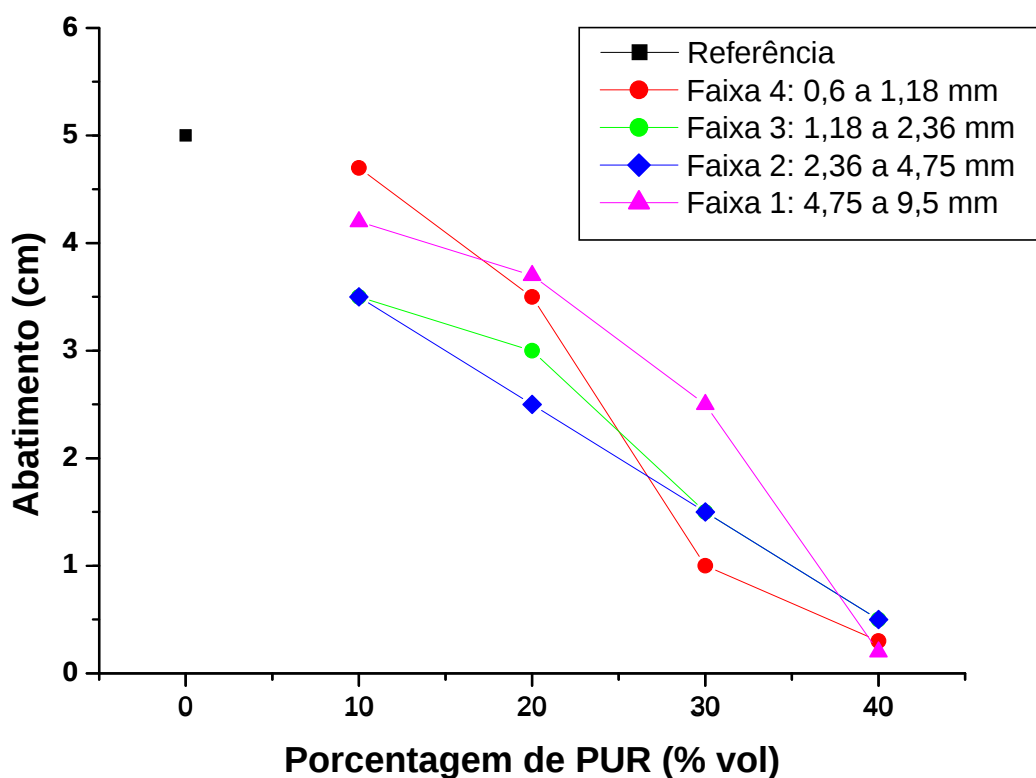


Figura 7. Curva do abatimento versus concentração de poliuretano rígido (PUR) na mistura.

Na medida que ocorre a substituição de agregados por poliuretano rígido (PUR), o valor de abatimento decresce, ou seja, quanto maior a concentração em volume de poliuretano na mistura, menor é seu valor de abatimento. Por outro lado,

verifica-se um comportamento de abatimento bastante semelhante entre as amostras com partículas de PUR (Faixas 2 e 3) independentemente de sua concentração em substituição na mistura. Já as amostras com partículas de PUR (Faixa 4) apresentam comportamento semelhante às amostras com partículas de PUR (Faixa 1) em concentração de 10 a 20 %vol. de PUR. Após esta concentração, apresentam comportamento semelhante às amostras com partículas de PUR (Faixas 2 e 3).

Aparentemente a menor partícula de poliuretano rígido (Faixa 4 conforme Tabela 4) quando inseridas na mistura mostraram valores de abatimento na mistura bastante semelhantes das amostras com substituição pelo poliuretano rígido de maior partícula, com exceção das amostras com concentração de 30 %vol. PUR. Verifica-se também um comportamento semelhante de abatimento da mistura entre as substituições de PUR com tamanhos de partículas intermediárias (Faixas 2 e 3) não importando as diferenças em concentrações de PUR. Por outro lado, o comportamento de abatimento de partículas intermediárias apresenta comportamento distinto com relação a menor e maior partículas utilizada na substituição por agregados. Este mesmo efeito foi também verificado por Santos (2007).

3.4 Caracterização das misturas

As caracterizações de densidade real, aparente e de massa solta versus a concentração de poliuretano rígido (PUR) na mistura, estão apresentadas na Figura 8.

De acordo com a Figura 8, todas as amostras de concreto com substituição de agregados por poliuretano rígido, nas concentrações conforme descrito na Tabela 3, apresentaram valores de densidade real, densidade aparente e de massa solta coerentes às encontradas na construção civil. No entanto, é verificado que as partículas menores (Figura 8a e b) promovem um acréscimo no assentamento durante moldagem quando comparadas às partículas maiores (Figura 8c e d).

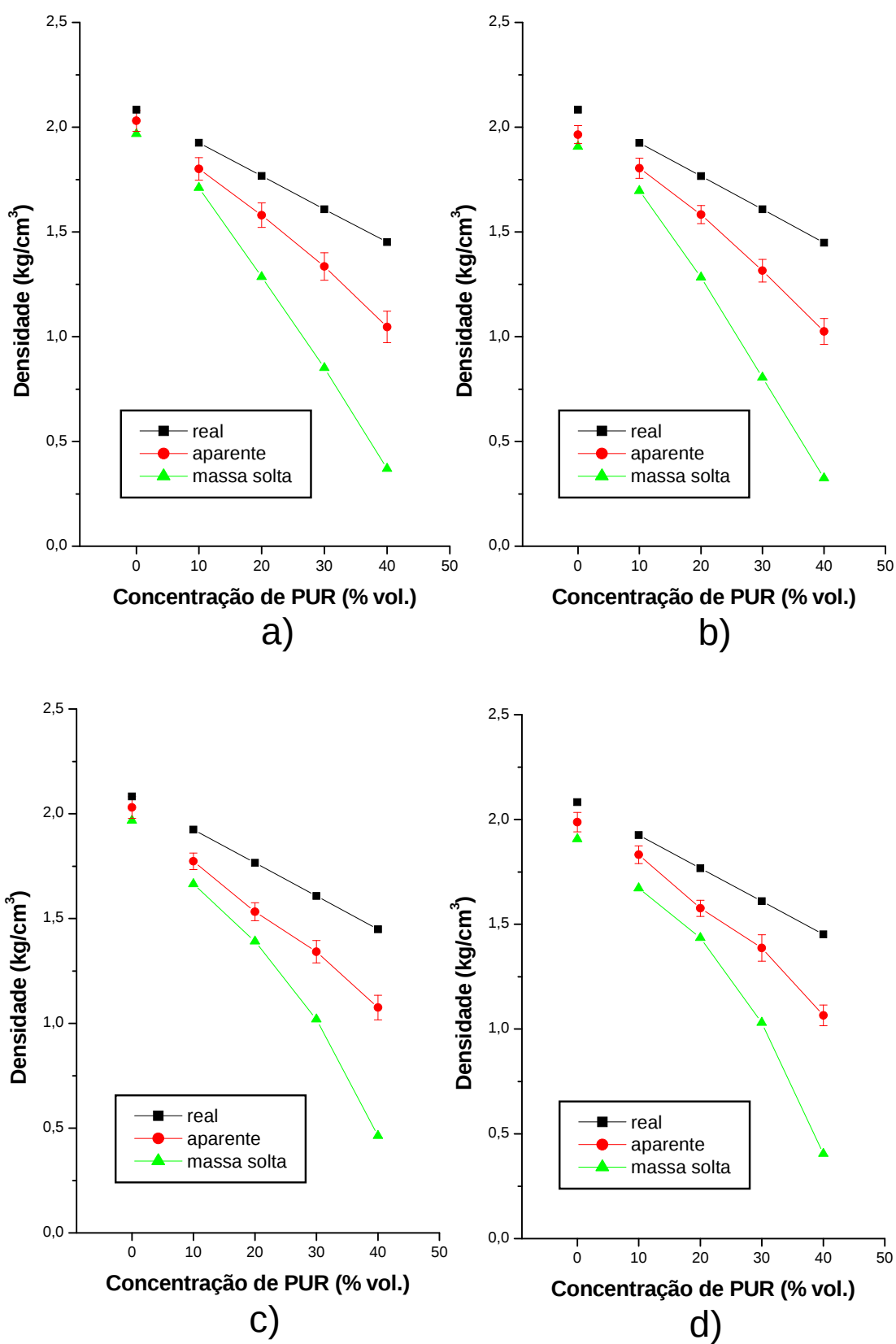


Figura 8. Curva da densidade real, aparente e de massa solta versus concentração de poliuretano rígido (PUR) na mistura: a) Faixa 4: 0,60 a 1,18 mm, b) Faixa 3: 1,18 a 2,36 mm, c) Faixa 2: 2,36 a 4,75 mm e d) Faixa 1: 4,75 a 9,5 mm.

3.5 Caracterização Mecânica dos Corpos de Prova

3.5.1 Caracterização por tensão de ruptura

A Figura 9 mostra os resultados dos ensaios de resistência a compressão realizados em corpos-de-prova dos traços preparados, com idade de 3 dias, para uma dosagem de concreto conforme Tabela 3.

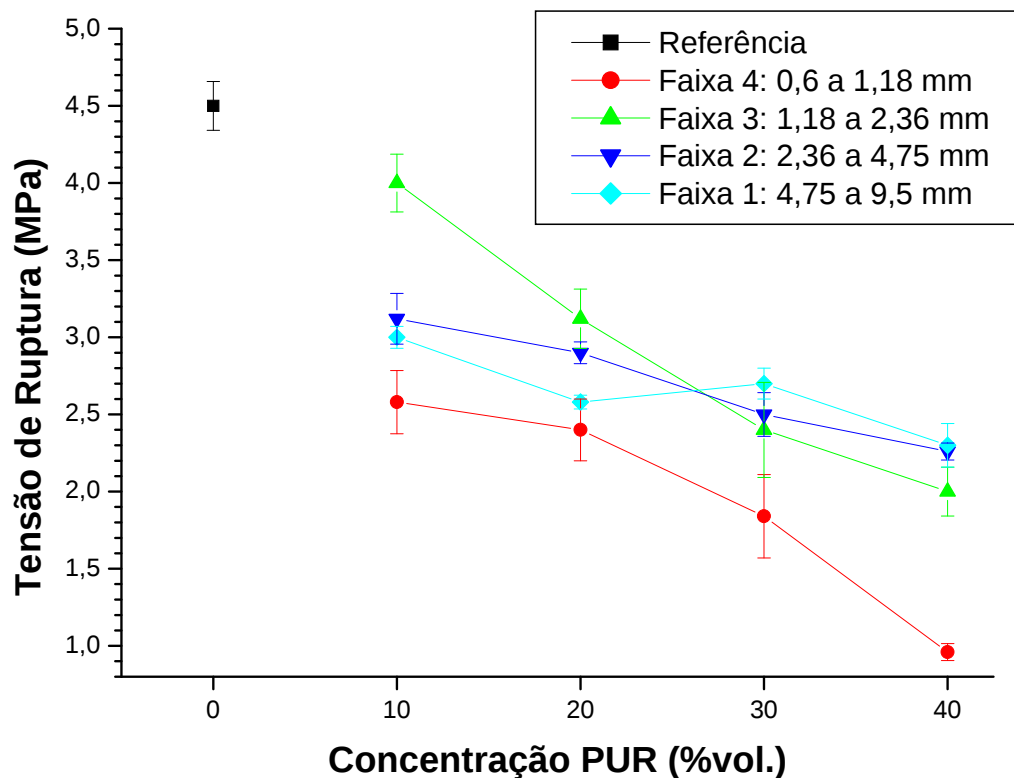


Figura 9. Curva tensão de ruptura versus concentração de PUR adicionados na mistura de amassamento em amostras de concreto com idade de 3 dias.

A partir da análise da Figura 9 pode-se constatar que o traço de referência apresentou uma resistência a compressão média de 4,5 MPa. Na medida que aumenta a concentração de PUR em substituição aos agregados, a resistência à compressão cai progressivamente independentemente do tamanho das partículas

de PUR. Além disso, as amostras com partículas menores de PUR apresentaram valores menores de tensão de ruptura.

Para concentração de 10 %vol. de PUR as amostras com partículas referente a Faixa 3 apresentaram valores de resistência a compressão de cerca de 4,0 MPa, enquanto que as amostras com partículas da Faixa 1 e 2 valores de 3,1 MPa e da Faixa 4 valor de aproximadamente 2,6 MPa. Já a partir de 20 %vol. de PUR as amostras com partículas das Faixas 1 a 3 apresentaram valores de tensão de ruptura bastante próximos, o que não ocorre com as amostras com partículas da Faixa 4 que apresentaram valores bem menores e longe das demais amostras. Neste caso, verifica-se que o tamanho das partículas de poliuretano quando misturados no concreto influencia diretamente na resistência a compressão da estrutura. Este comportamento, está relacionado, provavelmente, a forma das partículas do resíduo, que neste caso é granular. Considerando que os agregados possuem uma resistência mecânica intrinsecamente maior que o resíduo de PUR, e que a forma granular deste resíduo origina uma porosidade análoga, pode-se esperar, neste caso, uma diminuição da resistência mecânica.

A Figura 10 mostra os resultados dos ensaios de resistência a compressão realizados em corpos-de-prova dos traços preparados, com idade 7 dias, para uma dosagem de concreto com composição conforme Tabela 3.

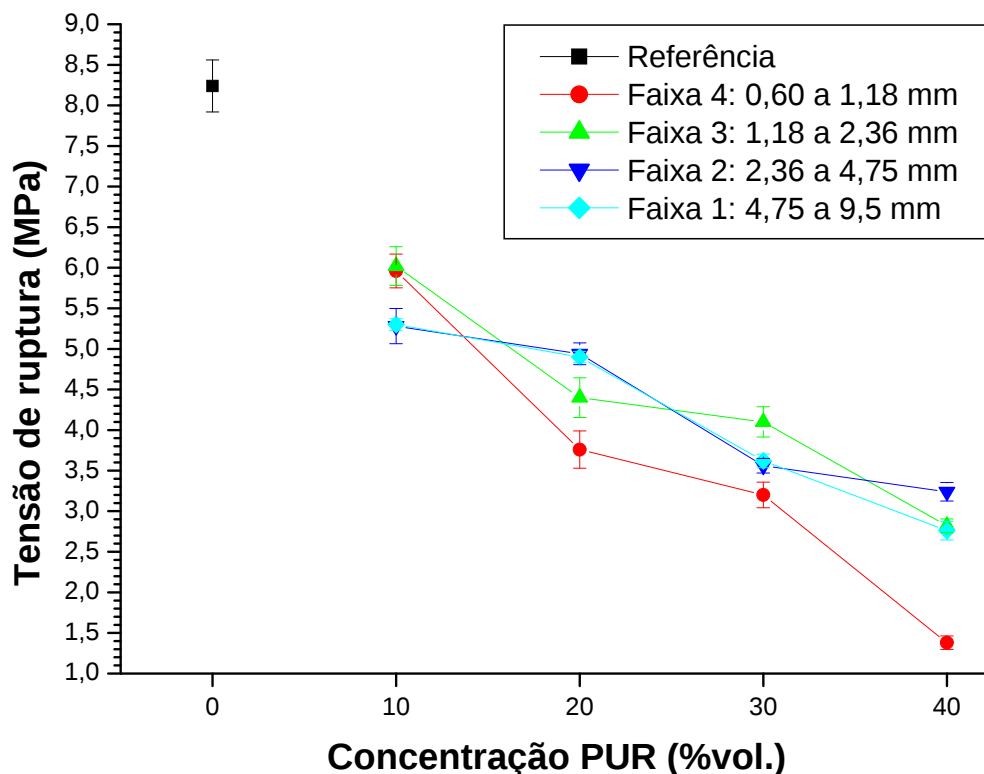


Figura 10. Curva tensão de ruptura versus concentração de PUR adicionados na mistura de amassamento em amostras de concreto com idade de 7 dias.

A Figura 10 apresenta um valor para o traço de referência maior que as amostras com 3 dias de cura (Figura 9), apresentando um valor de aproximadamente de 8,2 MPa. Este valor está coerente com relação ao tempo de cura da mistura que é maior. Na medida que aumenta a concentração de PUR em substituição aos agregados, a resistência à compressão também cai progressivamente independentemente do tamanho das partículas. Além disso, o comportamento de tensão de ruptura apresenta valores muito semelhantes para todas as concentrações de PUR utilizadas. No entanto, as amostras com substituição de parte dos agregados por poliuretano rígido com as menores partículas e com tempo de cura em 7 dias, mostraram valores menores de tensão de ruptura quando comparada com as demais amostras.

A Figura 11 mostra os resultados dos ensaios de resistência a compressão realizados em corpos-de-prova dos traços preparados, com idade 28 dias, para uma dosagem de concreto com composição conforme Tabela 3.

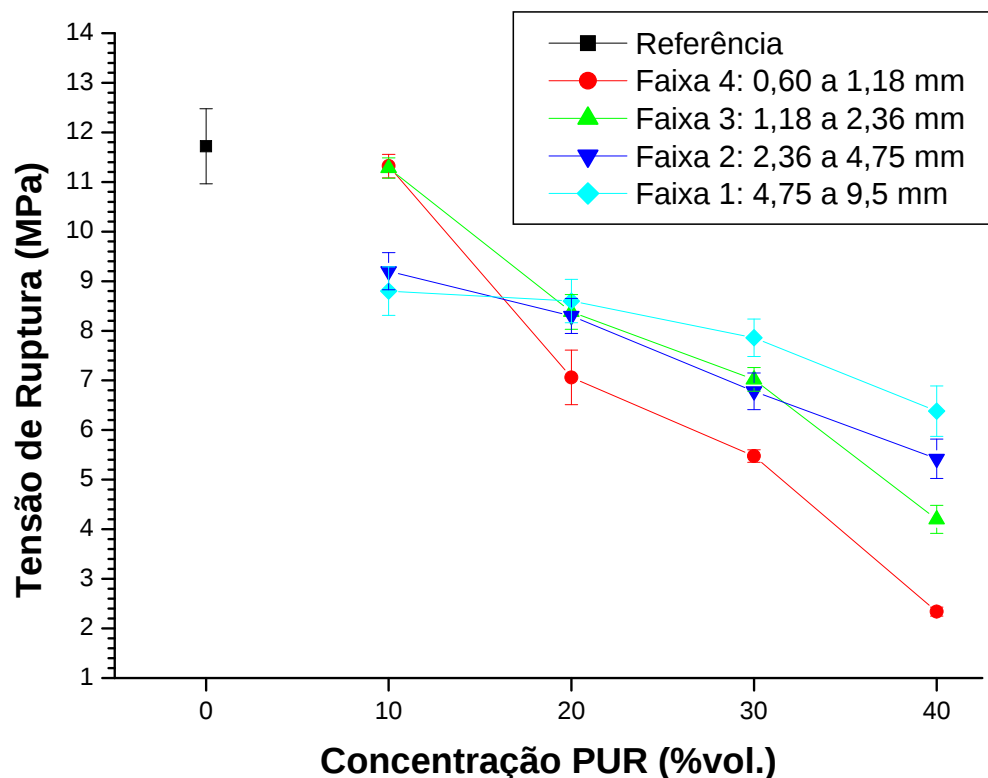


Figura 11. Curva tensão de ruptura versus concentração de PUR adicionados na mistura de amassamento em amostras de concreto com idade de 28 dias.

As amostras com tempo de cura de 28 dias, apresentam um valor para o traço de referência bem maior que as demais amostras com 3 e 7 dias de cura (Figura 9 e 10), apresentando um valor de aproximadamente de 11,8 MPa. Este valor está coerente com relação ao tempo de cura desta mistura que é maior. Na medida que a concentração de PUR em substituição aos agregados cresce, a resistência à compressão apresenta valores menores progressivamente independentemente do tamanho das partículas. Por outro lado, observa-se que para tempos maiores de cura do concreto (28 dias), as amostras preparadas com PUR apresentam resistência muito próxima do traço de referência. Isto pode estar relacionado com o fato da presença de PUR não estar afetando, para tempos maiores, na resistência do concreto. No entanto, as amostras com substituição de parte dos agregados por poliuretano rígido com as menores partículas (Faixa 4) e com tempo de cura em 28 dias, com exceção da concentração de 10 %vol. PUR, mostraram valores menores de tensão de ruptura quando comparada com as

demais amostras. As amostras com PUR nas Faixas 1, 2 e 3 apresentam valores semelhantes de tensão de ruptura nas concentrações de PUR entre 20 e 40 %vol. Na concentração de 10 %vol. de PUR as amostras preparadas com poliuretano de Faixas 3 e 4 apresentam valor de tensão de ruptura muito próximas do valor encontrado para as amostras desenvolvidas com traço de referência. Já as amostras Faixa 1 e 2 apresentam valor menor em torno de 9 MPa.

3.5.2 Caracterização por tensão diametral

A Figura 12 é mostrada os resultados referente aos ensaios de resistência diametral realizados em corpos-de-prova dos traços preparados, com idade de 28 dias de cura.

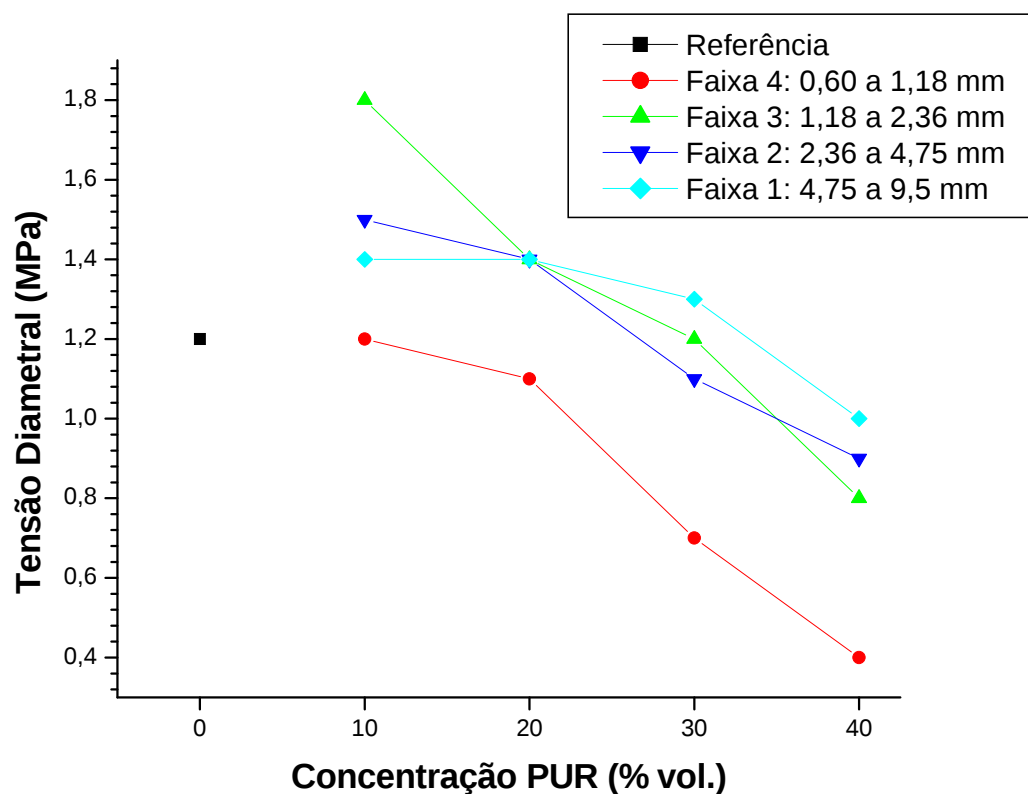


Figura 12. Curva tensão diametral versus concentração de PUR adicionados na mistura de amassamento em amostras de concreto com idade de 28 dias.

Verifica-se que a amostra de referência apresenta valor de 1,2 MPa. A amostra preparada com o menor tamanho de partículas de PUR (Faixa 4), apresenta um valor de tensão diametral igual ao da amostra de referência na concentração de 10 %vol. e que decresce na medida que a concentração de PUR aumenta. Por outro lado, as demais amostras apresentam valores bem maiores inclusive da referência. Além disso, estas amostras mostram comportamentos semelhantes de tensão diametral. Assim como as amostras submetidas a tensão de ruptura, as amostras preparadas com as menores partículas (Faixa 4) apresentam os menores valores de tensão.

3.5.3 Caracterização por flexão

As análises por flexão versus a concentração utilizada de PUR, em substituição aos agregados, na preparação das amostras são apresentadas na Figura 13.

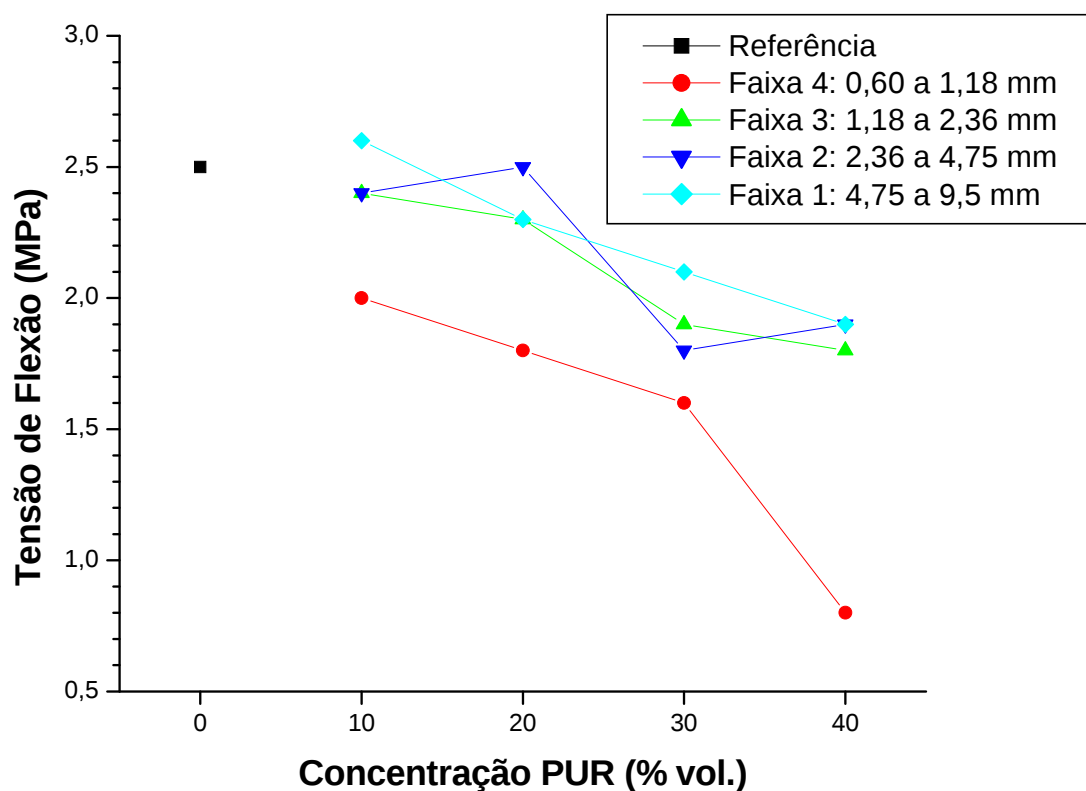


Figura 13. Curva tensão de flexão versus concentração de PUR adicionados na mistura de amassamento em amostras de concreto com idade de 28 dias.

A curva de flexão para a amostra de referência apresenta um valor de 2,5 MPa. Como pode ser observado na figura, para uma concentração de 10 %vol. de PUR, as amostras preparadas com granulometrias referente as Faixas 1 à 3 apresentam valores próximos do valor encontrado para a amostra de referência. Para todas as amostras, independentemente do tamanho de partículas de PUR, o aumento de concentração de PUR parece diminuir o valor de suas resistências à flexão. As amostras referente as Faixas 1 à 3 mostraram comportamentos de flexão próximos um do outro, o que não ocorreu com as amostras preparadas com PUR de granulometria de Faixa 1 que apresentou os menores valores para flexão, inclusive para valores de concentração em 10 %vol..

3.5.4 Caracterização por Absorção de água

O resultado das análises de todas as amostras por absorção de água são apresentados na Figura 14.

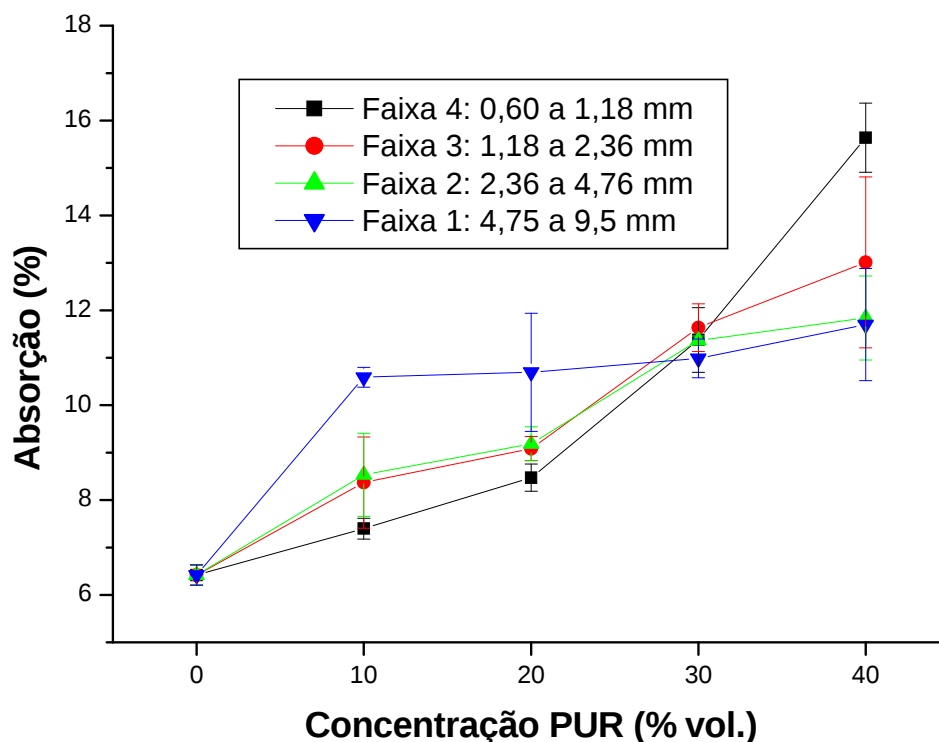


Figura 14. Curva Absorção de água versus concentração de poliuretano rígido adicionados na mistura, com 28 dias de cura.

As amostras com misturas com adição de PUR com granulometrias Faixas 2 à 4 apresentam absorção semelhante entre as concentrações de 10 à 30 %vol.. Acima deste valor as amostras fabricadas com PUR Faixa 4 possui valor de absorção maior que as demais. Por outro lado, as amostras fabricadas com PUR Faixa 1 apresenta valores de absorção muito acima entre 10 e 30 %vol., e que acima deste valor se equivale às demais amostras com PUR Faixas 2 e 3.

4. CONCLUSÕES

Os resultados encontrados por teste de *Slump Test* demonstraram que a quantidade de PUR promove um menor abatimento da mistura de concreto. Este resultado deverá ser melhor estudado por análises de energia de superfície de cada um dos componentes da mistura estudada.

Os resultados de densidade real, aparente e de massa solta foram adequados para cada tipo de mistura com PUR nas quatro faixas granulométricas.

Foi verificado que a concentração de PUR influencia na resistência mecânica da estrutura de concreto sendo menor a medida que a concentração de PUR aumenta. Por outro lado, nos resultados de tensão de ruptura, diametral e flexão foi verificado que independentemente do tempo de cura da mistura de concreto, as amostras compostas das menores partículas (0,6 à 1,18 mm-Faixa 4) de PUR foram as que demonstraram os menores valores de resistência, quando comparadas com as demais amostras estudadas compostas de partículas maiores.

Todas as amostras demonstraram uma maior resistência mecânica à ruptura no sentido longitudinal e menor no sentido transversal.

As análises por absorção de água demonstram que as amostras com partículas maiores de PUR (Faixa 1) apresentam maior absorção de água nas concentrações entre 0 e 30 %vol. e que decresce após esta concentração. Por outro lado, as amostras compostas das menores partículas de PUR (Faixa 4) absorvem maior quantidade de água quando em concentrações de 40 %vol.

Verifica-se que o reuso deste tipo de resíduo, além de agregar valor, poderá reduzir os impactos ambientais atualmente decorrentes dos descartes por parte da indústria geradora.

O agregado PUR possui características físico-químicas interessantes para sua utilização na indústria da construção civil e no desenvolvimento de novos materiais.

Para que se utilize uma determinada faixa “real” é necessário identificar a devida aplicação que será submetida cada peça confeccionada.

Estes resultados poderão ser utilizados como base de cálculo em projetos de estruturas de misturas de concreto com PUR e também para futuros estudos relacionados a este tema.

5. PROPOSTA DE TRABALHOS FUTUROS

De acordo com os resultados encontrados, verifica-se como possíveis temas para trabalhos futuros:

- Estudar a influência das partículas menores de PUR na estrutura de concreto;
- Estudar as energias de superfície entre os materiais do concreto e de PUR durante o abatimento com o auxílio do *Slump Test*;
- Realizar uma simulação através de modelagem matemática.
- Estudar a viabilidade econômica da substituição de parte dos agregados convencionais por poliuretano rígido.

REFERÊNCIAS

AMBIENTAL BRASIL - Disponível em:
<<http://www.ambientebrasil.com.br/composer.php3?base=residuos/index.php3&conteudo=./residuos/artigos.html>>. Acesso em: 04 set. 2007.

AMICO, S.C. APOSTILA: Mini-curso Materiais Compósitos Poliméricos. Joinville, 2006.

ANGULO, S. C. Produção de concretos com agregados reciclados. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Civil)- Universidade Estadual de Londrina. 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10004: classificação e caracterização de resíduos. Rio de Janeiro, 1987.

_____. NBR 7184: blocos vazados de concreto simples para alvenaria - determinação da resistência à compressão -método de ensaio. Rio de Janeiro, 1992.

_____. NBR 7173: blocos vazados de concreto simples para alvenaria sem fim estrutural. Rio de Janeiro, 1982.

_____. NBR 12142 – Concreto - Determinação da resistência à tração na flexão em corpos-de-prova prismáticos.

_____. NBR 12821 – Preparação de concreto em laboratório.

_____. NBR 5733 – Cimento Portland de alta resistência inicial.

_____. NBR 5738 – Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova.

_____. NBR 5739 – Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos.

_____. NBR 7211 – Agregado para concreto – Especificação.

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

_____. NBR7222 – Argamassa e concreto - Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos.

_____. NBRNM46 – Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira 75 micrometro, por lavagem.

_____. NBRNM52 – Agregado miúdo - Determinação de massa específica e massa específica aparente.

_____. NBRNM65 – Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone.

_____. NBRNM67 – Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone.

_____. NBRNM-ISO3310-1 – Peneiras de ensaio - Requisitos técnicos e verificação - Parte 1: Peneiras de ensaio com tela de tecido metálico.

_____. NM65 – Cimento Portland - Determinação do tempo de pega.

BAUER, L. A. F. Materiais de construção. São Paulo: LTC, 2004.

CALLISTER JR., W.D. Ciência e Engenharia de Materiais: Uma introdução. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2002, 589p.

FÁBRICA DE CIMENTO – Cia. ITAMBÉ. Cimento Portland ARI-RS. Disponível em: <www.cimentoitambe.com.br>. Acesso em: 11 de janeiro de 2008.

GRIJÓ, P. E.A. Alternativa de Recuperação dos Resíduos Sólidos Gerados na Produção de Pranchas de Surf. Florianópolis: UFSC, 2004.

JOHN, V. M. Reciclagem de Resíduos na Construção Civil. Uma Contribuição para Metodologia de Pesquisa e Desenvolvimento. São Paulo, Tese livre docência da Escola Politécnica. 2000.113p.

JOHN, V.M. Avaliação da vida útil de materiais, componentes e edifícios. (Dissertação de Mestrado)-Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 1987, 130p.

JOHN, V.M. Pesquisa e Desenvolvimento de Mercados para Resíduos. In: Workshop Reciclagem e Reutilização de Resíduos como Materiais de Construção. Anais..São Paulo: ANTAC, no. 25-16 Nov. 1996 p.21-31.

KRAEMER, Maria Elisabeth Pereira. A questão ambiental e os resíduos industriais. Disponível em: <<http://www.gestaoambiental.com.br/articles.php?id=65> >. Acesso: 12 de ago. 2007.

LERIPIO, A. A. Gerenciamento de resíduos. Disponível em: <<http://www.eps.ufsc.br/~lgqa/Coferecidos.html>>. Acesso em: 26 de jul. 2007.

PASSOS, José Artur Lemos. Gerenciamento de resíduos sólidos. In: Banas PATON, W. J. Materiais de construção. São Paulo: E.P.U. EDUSP, 2005. Qualidade, São Paulo v. 6, n. 116, p. 62-64, jan. 2002.

QUEIROZ, Maricy de Andrade. Gerenciamento de resíduos industriais: um desafio constante. FIEC On-line, Banas Qualidade, São Paulo , v. 14, n. 158 , p. 108-111, jul. 2005.

SANTOS FILHO, M. L.; MOREIRA, A. R.; NOBREGA, S. M. de S.; BINI , S. C.; ZANETTI, C. Estudo da Viabilidade do Aproveitamento do Poliuretano Expandido Reciclado com Adição ao Concreto de Cimento Portland para Fabricação de Blocos

de Concreto. 44º Congresso Brasileiro do Concreto – IBRACON – 2002. Belo Horizonte. Anais, 2002.

SANTOS, L. J. Reaproveitamento de Resíduos de Poliuretano em Artefatos de Concreto. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia de Produção Mecânica da Universidade da Região de Joinville - UNIVILLE, 2007.

SIQUEIRA, L. V. M.; STRAMARI, M. R.; FOLGUERAS, M. V. Adição de Poliuretano Expandido para a confecção de Blocos de Concreto Leve. Revista Matéria, v. 9, n. 4, p. 399 – 410, 2004.

SIQUEIRA, L. V. Maia. Uma contribuição ao estudo da adição de resíduos de poliuretano expandido para a confecção de blocos de concreto leve. (Dissertação de Mestrado)- Universidade do Estado de Santa Catarina – Udesc, Joinville. 2006, 160p.

VILAR, W. Química e Tecnologia de Poliuretanos. 2^o ed. Rio de Janeiro, Editora Vilar Consultoria, 2000.

ANEXO

TRABALHOS PUBLICADOS

VIEIRA, R. A. ; SANTOS, L. J. ; MARCHI, V. L. ; MODRO, N. L. R. ; OLIVEIRA, A. P. N. . Caracterização mecânica e térmica de concreto contendo resíduo de poliuretano rígido.. In: 52o. Congresso Brasileiro de Cerâmica, 2008, Florianópolis. Anais do 52o. Congresso Brasileiro de Cerâmica, 2008.

MARCHI, V. L. ; VIEIRA, R. A. ; MODRO, N. L. R. ; OLIVEIRA, A. P. N. . Estudo da resistência à compressão de compósitos de cimento/agregados/água com adição de resíduos de poliuretano.. In: 52o. Congresso Brasileiro de Cerâmica, 2008, Florianópolis. Anais do 52o. Congresso Brasileiro de Cerâmica, 2008.

MARCHI, V. L. ; VIEIRA, R. A. ; MODRO, N. L. R. ; OLIVEIRA, A. P. N. . Estudo da resistência à compressão de compósitos de cimento/agregados/água com adição de resíduos de poliuretano.. In: 52o. Congresso Brasileiro de Cerâmica, 2008, Florianópolis. Anais do 52o. Congresso Brasileiro de Cerâmica, 2008.

VIEIRA, R. A. ; NONO, M. C. A. ; OLIVEIRA, I. C. ; MODRO, N. L. R. ; MARCHI, V. L. ; MODRO, N. R. . AFM and RBS analyses of magnetron sputtered TiN functional films on AISI D6 and AISI M2 steel substrates. In: 15th International Symposium on Metastable, Amorphous and Nanostructured Materials., 2008, Buenos Aires. Proceeding of ISMANAM 2008, 2008.