

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA – UDESC
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS – CCT
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA – DEM
MESTRADO EM ENGENHARIA DE MATERIAIS E PROCESSOS AVANÇADOS

Formação: Mestrado em Engenharia de Materiais e Processos Avançados

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO OBTIDA POR

Raquel Luísa Pereira

**RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS: UMA FONTE ALTERNATIVA
NA ELABORAÇÃO DE MATERIAIS CERÂMICOS DE BAIXA
DENSIDADE**

Apresentada em 25 / 10 / 2002 Perante a Banca Examinadora:

Nelson Heriberto Almeida Camargo, Dr. (CCT/UDESC) PRESIDENTE

Armando Borges De Castilhos Jr., Dr. (UFSC).

Marilena Valadares Folgeras, Dra. (CCT/UDESC).

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA – UDESC

CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS – CCT

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA - DEM

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA DE MATERIAIS E PROCESSOS AVANÇADOS**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Mestranda: RAQUEL LUÍSA PEREIRA – Química Industrial

Orientador: Prof. Dr. NELSON HERIBERTO ALMEIDA CAMARGO

CCT/UDESC – JOINVILLE

**RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS: UMA FONTE ALTERNATIVA
NA ELABORAÇÃO DE MATERIAIS CERÂMICOS DE BAIXA
DENSIDADE**

DISSERTAÇÃO APRESENTADA PARA OBTENÇÃO
DO TÍTULO DE MESTRE EM ENGENHARIA DE
MATERIAIS E PROCESSOS AVANÇADOS DA
UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA
CATARINA, CENTRO DE CIÊNCIAS
TECNOLÓGICAS – CCT, ORIENTADA PELO PROF.
DR. NELSON HERIBERTO ALMEIDA CAMARGO.

Joinville
2002



UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA - UDESC
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS – CCT
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO – CPG

**"RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS: UMA FONTE ALTERNATIVA
NA ELABORAÇÃO DE MATERIAIS CERÂMICOS DE BAIXA
DENSIDADE"**

por

Raquel Luísa Pereira

Essa dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de

MESTRE EM ENGENHARIA DE MATERIAIS E PROCESSOS AVANÇADOS

na área de concentração "**Reciclagem de Resíduos Sólidos**", e aprovada em sua forma final
pelo

**CURSO DE MESTRADO EM ENGENHARIA DE MATERIAIS E PROCESSOS
AVANÇADOS**

**DO CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS DA
UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA**

Dr. Nelson Heriberto Almeida Camargo
(Presidente)

Banca Examinadora:

Dr. Armando Borges de Castilhos Jr.
UFSC

Dra. Marilena Valadares Folgeras
UDESC

FICHA CATALOGRÁFICA

NOME: PEREIRA, Raquel Luísa.	
DATA DEFESA: 30/10/2002	
LOCAL: Joinville, CCT/UDESC	
NÍVEL: Mestrado	Número de ordem: – CCT/UDESC
FORMAÇÃO: Engenharia de Materiais e Processos Avançados	
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: Reciclagem de Resíduos Sólidos	
TÍTULO: RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS: UMA FONTE ALTERNATIVA NA ELABORAÇÃO DE MATERIAIS CERÂMICOS DE BAIXA DENSIDADE	
PALAVRAS - CHAVE: Matéria Alternativa, Argamassa, Microestrutura, Propriedades.	
NÚMERO DE PÁGINAS: 106 p.	
CENTRO/UNIVERSIDADE: Centro de Ciências Tecnológicas da UDESC	
PROGRAMA: Pós-graduação em Engenharia de Materiais e Processos Avançados	
CADASTRO CAPES: 4100201001P-9	
ORIENTADOR: Dr. Nelson Heriberto Almeida Camargo	
PRESIDENTE DA BANCA: Dr. Nelson Heriberto Almeida Camargo	
MEMBROS DA BANCA: Dr. Armando Borges de Castilhos Jr., Dra. Marilena Valadares Folgeras	

A Deus por tudo. *O Senhor é meu pastor, nada me faltará.*

Ao meu pai *in memóiam*:

Por mais que o tempo e a distância insistam em me fazer te esquecer, sei que o amor verdadeiro nunca morrerá.

À minha mãe e irmãos:

O nosso amor me estimula a transformar sonhos em realidade.

AGRADECIMENTOS

À Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC, e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais e Processos Avançados pela oportunidade da realização do presente trabalho.

Ao professor, orientador Nelson Heriberto Almeida Camargo, pela dedicação, seriedade, competência e incentivo demonstrados durante a realização deste trabalho.

Ao colega Adriano Emilio Schmidt pelas suas idéias e discussões valiosas, ocorridas durante todo o período de nossa convivência na UDESC.

A CAPES pela bolsa de estudo concedida.

As empresas FRANKE DOUAT, FABRIL LEPPER e MULTIBRÁS pela contribuição para realização deste trabalho.

Ao Dr. Luiz Eduardo T. Ferreira pelas sugestões e explicações.

Aos meus grandes amigos de todos os momentos César, Cleiton, Fabrício, Franciele, Jeanette, Leônidas, Luciano, Marisa, Moisés, Rubens. "Nossa amizade nasceu de uma luz que acendeu aos olhos de abril" (Djavan).

Aos meus amigos, de todos os tempos, desde Adriana até Cristina, Dania, Gizele, Luciana, Nilza, Valter e Viviane, que sempre contribuíram para que eu pudesse vencer os desafios.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	10
INTRODUÇÃO GERAL.....	12

PARTE I – ESTUDO BIBLIOGRÁFICO

1.1. Generalidade sobre resíduos sólidos industriais.....	15
1.2. Normas de caracterização de resíduos sólidos industriais.....	17
1.3. Resíduo da indústria têxtil.....	19
1.4. Poliuretano.....	20
1.5. Cimento portland.....	21
1.5.1. Mecanismo de pega.....	22
1.6. Agregado.....	23
a) Agregado miúdo.....	23
b) Agregado graúdo.....	23
1.7. Argamassas.....	25
a) Argamassa de assentamento.....	25
b) Argamassa de revestimento.....	26
1.7.1. Preparação de argamassas.....	27
1.8. Resíduos industriais aplicados na construção civil.....	28
1.8.1. Resíduo areia verde de fundição.....	29
1.8.2 Resíduo da indústria de papel.....	33
1.9. Características das propriedades mecânicas e da microestrutura de diferentes argamassas.....	36
1.9.1.. Características microestruturais.....	38
a) Material obtido com areia verde de fundição.....	38
b) Material obtido com resíduo da indústria de papel.....	40

1.10 Mecânica da fratura.....	41
1.10.1 Mecanismos de Danificação da Argamassa.....	47

PARTE 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Introdução.....	49
2.1. Matérias-primas utilizadas.....	51
2.1.1 Areia (agregado fino).....	51
2.1.2. Matéria-prima alternativa têxtil.....	52
2.1.3. Poliuretano.....	55
2.1.4. Cimento.....	56
2.1.5. Fibra.....	57
2.1.6. Água.....	58
2.2. Preparação das composições unitárias em volume.....	59
2.2.1. Elaboração da argamassa com matéria- prima têxtil/agregado de Poliuretano/cimento.....	60
2.3. Caracterização.....	61
2.3.1. Caracterização física.....	61
2.3.2. Propriedades mecânicas.....	62
2.3.3. Caracterização microestrutural.....	63
2.2.4. Análise granulométrica.....	64
2.2.5. Determinação da umidade.....	64
2.2.6. Ensaio ambientais.....	64
2.4. Lote piloto.....	65

PARTE 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Introdução.....	66
3.1. Estudo preliminar	66
3.1.1. Caracterização química.....	66
3.1.2. Elaboração da argamassa – Características.....	69
3.1.3. Adição do poliuretano na argamassa.....	75
3.2. Caracterização microestrutural e microanálise por EDX.....	82
3.2.1 Caracterização microestrutural e análise química por EDX para o material padrão e para o material com a composição de 30% a 60% de matéria-prima têxtil	82
3.2.2. Caracterização microestrutural e microanálise por EDX para o material contendo em sua composição matéria-prima têxtil, Poliuretano e fibra.....	85
4. Estudo piloto realizado em nível industrial.....	90
5. Caracterização microestrutural do material convencional utilizado pela empresa FRANKE-DOUAT.....	91
6. Resultado da análise ambiental para o material com a composição de 30% de matéria-prima têxtil/70% de Poliuretano.....	92
7. Conclusão.....	96
8. CONCLUSÃO GERAL	99
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	101

RESUMO

Este trabalho é o resultado dos projetos de parceria com as empresas FRANKE DOUAT e FABRIL LEPPER, sobre a utilização de traços de resíduos sólidos resultantes de processos industriais, na preparação de uma argamassa para aplicação em revestimento em chapas metálicas. Estas duas empresas forneceram as condições necessárias para realização deste trabalho, além da forte interação técnico-científica existente entre os participantes, o que veio contribuir ainda mais para realização deste trabalho. Foram utilizados os resíduos sólidos do processo de tratamento de efluentes da indústria têxtil, o qual foi denominado de matéria-prima alternativa têxtil, e o resíduo sólido de poliuretano resultante do processo de isolamento de refrigeradores, o qual foi chamado de matéria-prima de poliuretano. O objetivo deste trabalho se concentrou na preparação de uma argamassa para revestimento, a partir de traços de matérias-primas alternativas em substituição ao agregado fino, com interesse de produzir um material de revestimento de baixa densidade e baixo custo, com propriedades mecânicas e da microestrutura compatíveis para o tipo de aplicação desejada.

Os resultados obtidos são encorajadores, e se referem aos estudos de caracterização das matérias-primas alternativas, ambientais, das propriedades mecânicas, físicas (densidade) e da microestrutura para as diferentes composições preparadas. A otimização da composição de 30% de matéria-prima têxtil / 70% de poliuretano forneceu um material com os melhores resultados das propriedades mecânicas, densidade e da microestrutura. Uma conclusão foi elaborada mostrando os principais pontos alcançados e as perspectivas para os estudos futuros sobre o desenvolvimento de uma argamassa para revestimento em chapas metálicas ou para outros tipos de aplicações.

ABSTRACT

The goal of this work was to develop a low cost and light weight mortar for sheet metal coating used in industrial applications. The investigation was performed in the CCT/UDESC university in cooperation with FRANKE DOUAT and FABRIL LEPPER industries which provided the raw material and financial support for the development of this work. It was fabricated many mortars with the addition of a controlled mixing of industrial wastes in

substitution to the fine aggregate normally used in building materials (sand). The mortars were prepared with ARI-RS Portland cements and sand in a 1:3 proportion. Two solids residues, i.e., polyurethane, and a textile residue, were incorporated in the mortars in varying proportions. The aging time of the samples was varied from 10 hours to 7 days. The results were important and concern a characterization study on the raw materials, on the mechanical properties and on the microstructure of the different materials fabricated. An optimum mixture containing 30% of textile residue and 70% of polyurethane was obtained which provided the best results of mechanical properties, light weight and microstructure. A conclusion was elaborated showing the main points obtained as well as an outlook for the next studies about the development of a mortar for sheet metal coating or other kinds of applications.

INTRODUÇÃO GERAL

Em praticamente todo o mundo a preocupação com política ambiental surgiu há mais de vinte anos. A França foi um dos primeiros países a criar, em Janeiro de 1971, um ministério de proteção da natureza e do meio ambiente. Ao longo dos últimos anos, a proteção ambiental revelou-se um imperativo que atinge uma dimensão planetária. Essa conscientização fez surgir um grande número de tratados, diretrizes e convenções.

No Brasil a política ambiental teve um grande destaque a partir da década de 90, quando as empresas passaram a se pronunciar mais intensivamente sobre suas responsabilidades ambientais. Isso se deve por um lado, ao debate sobre a modernidade ocorrida em 1991, que difundiu, juntamente com as práticas de liberalismo econômico, as de qualidade total. E por outro lado, a preparação e realização da ECO 92 no Rio de Janeiro que mobilizou os empresários no distinto fórum. A defesa do meio ambiente deixou de ser apenas assunto de ecologistas e passou a ter grande relevância nas estratégias empresariais. Algumas empresas estão procurando mudar a filosofia de satisfação das necessidades do consumidor, objetivando uma melhor qualidade de vida para a sociedade, buscando solucionar os problemas ambientais. A preservação do meio ambiente converteu-se em um dos fatores de maior influência da década de 90, com grande rapidez de penetração de mercado [SOUZA, 1993].

Diversas empresas no Brasil estão se reestruturando, de forma a evitar o desperdício e adotar a reciclagem e o aproveitamento dos resíduos, como um fator positivo para o meio ambiente, apresentar soluções para a redução do impacto de suas atividades no meio ambiente, e o uso adequado dos recursos naturais, com isso, começaram a apresentar soluções, para alcançar o desenvolvimento sustentável e ao mesmo tempo, aumentar a lucratividade de seus negócios. A preocupação com os descartes dos resíduos industriais e urbanos no ar, água e solo, tem preocupado os meios técnicos, pois o meio ambiente, tem se tornado cada vez mais escasso, no sentido de ser incapaz de absorver quantidades crescentes de resíduos [SILVA et al, 1997]. É necessário ressaltar que é fundamental o reaproveitamento de certos materiais considerados erroneamente como resíduos. Dar um destino nobre para os resíduos constitui, na atualidade, um grande desafio.

Diante do contexto de preservação ambiental e de viabilidade econômica, a indústria da construção civil ocupa papel de destaque por demandar grandes quantidades de materiais, apresentando-se, portanto, como potencial consumidor de resíduos sólidos industriais e urbanos, e com possível aplicação em vários setores da construção civil, como confecção de tijolos cerâmicos, argamassas para confecção de blocos, argamassas de revestimento, entre outros.

Este trabalho surgiu a partir de contratos de parceria (projetos de pesquisa) com as empresas FRANKE DOUAT e FABRIL LEPPER – Joinville, tendo como objetivo a elaboração e caracterização de um material cerâmico de revestimento de baixa densidade e baixo custo. Para este estudo, foram utilizados como fonte alternativa, resíduos sólidos de baixa densidade na forma de granulados, originários da indústria têxtil e pó de poliuretano resultante do processo de isolamento de refrigeradores, estes foram utilizados em substituição ao agregado fino (areia) convencionalmente utilizado. O interesse aqui se concentrou na produção de um material cerâmico de baixa densidade, afim de minimizar os custos de transporte das pias revestidas

A companhia FABRIL LEPPER produz artigos de cama, mesa, banho e decoração. O processo têxtil da empresa gera certa quantidade de resíduos, dentre eles o lodo têxtil. O lodo ao sair do filtro prensa, passa por um secador, o material seco foi chamado de matéria-prima têxtil.

Os produtos da FRANKE DOUAT são cubas, pias, tanques, produtos sanitários, válvulas, e sistemas de gestão do lixo. A chapa de aço inoxidável utilizada na fabricação das pias possui espessura de 0,38mm, sendo que a função da argamassa de revestimento nas pias é proporcionar a rigidez do produto e melhorar a fixação deste em seu local de uso, assim inibindo qualquer deslocamento após instalado sobre um balcão.

Na parte 1 deste trabalho, está ilustrado o resultado do estudo bibliográfico, o que permitiu estabelecer um estudo de conhecimento sobre reaproveitamento de resíduos sólidos industriais, métodos e técnicas de elaboração e de caracterização destes novos materiais.

Na parte 2 estão representados os materiais e métodos utilizados, o processo de elaboração do material e técnicas de caracterização.

A parte 3 expõem os resultados e discussões obtidos do estudo de caracterização das propriedades mecânicas, físicas, químicas e da microestrutura para as diferentes composições dos materiais testados.

Finalizando este trabalho, uma conclusão foi formulada referente aos estudos ilustrados na parte 3 e por fim apresentando uma conclusão geral do trabalho, levando em consideração os resultados obtidos, propondo novas sugestões para continuidade dos estudos.

PARTE 1. ESTUDO BIBLIOGRÁFICO

1.1. Generalidade sobre resíduos sólidos industriais

Com a evolução tecnológica o setor industrial tem dedicado um esforço intenso, na melhoria dos processos de fabricação, buscando melhorar a qualidade do produto acabado e aumentar a competitividade no mercado industrial. O que tem levado as empresas, a tomarem certas precauções com o meio ambiente, devido às cobranças nacionais e internacionais de preservação da natureza.

Para alcançar este objetivo, um ponto importante tem preocupado os órgãos nacionais e internacionais que estabelecem as normas de preservação do meio ambiente. O descarte de resíduos industriais e urbanos, no ar, na água e no solo, tem sido uma grande preocupação da atualidade, pois estes vêm sendo ainda depositados por muitas indústrias em aterros de formas não adequadas [GRANDI, 1995].

Muitas empresas brasileiras estão se ajustando para atender aos apelos de proteção ambiental, sabendo-se ainda, que os investimentos são bastante humildes, mas existe o interesse em dar soluções e reduzir o impacto no meio ambiente, muitos descobriram que não agredir o meio ambiente é economicamente viável, além de preservar os recursos naturais. Assim, as empresas têm apresentado algumas soluções, o que tem melhorado o desenvolvimento sustentável, e ao mesmo tempo aumentado a lucratividade de seus negócios, o que tem minimizado os desperdícios através da recuperação e reaproveitamento dos resíduos resultantes dos processos de industrialização.

Em virtude das características físico-químicas desconhecidas dos resíduos sólidos, esses devem ser armazenados de forma adequada, a fim de evitar que esses venham interagir entre si, gerando um desequilíbrio do meio ambiente. A tabela 1.1. apresenta genericamente tipos de resíduos sólidos gerados durante alguns processos industriais.

Tabela 1.1. Tipos de resíduos resultantes de processos industriais [SILVA et al, 1996].

INDÚSTRIAS	TIPOS DE RESÍDUOS
Refinarias de petróleo	Coque e ceras de petróleo
Eletrometal-mecânicas	Metais pesados (Zn, Cu, Ni e Pb)
Mineradoras	Resíduos da mineração (sólidos ou da lavagem)
Têxteis	Fibras de algodão e lamas da ETE*
Agroindústrias	Matéria orgânica e detergentes
Madeira-mobiliário-papel e papelão	Fibras de madeira, lodos e soda cáustica
Químicas	Lodo ETA*, na manipulação de qualquer produto
Fundições	Areias, areias de fundição quando se utilizam resinas
Curtumes	Resíduos de peles curtidas com alto teor de cromo

* ETE : Estação de tratamento de efluentes

* ETA : Estação de tratamento de afluentes

Recentemente, vários estudos foram desenvolvidos em diferentes laboratórios, sobre a possibilidade de reaproveitamento de resíduos na obtenção de novos materiais, principalmente para uso na construção civil.

A tabela 1.2 apresenta diferentes tipos de resíduos incorporados em argamassas, desenvolvidos por diferentes autores.

A reciclagem e o reaproveitamento de resíduos como materiais para a construção civil é uma ferramenta de fundamental importância para o controle e minimização dos problemas ambientais causados pela geração de resíduos em diferentes atividades industriais, e na obtenção de materiais a um baixo custo.

As propriedades de certos resíduos permitem a aplicação destes como novos materiais para a construção civil, em substituição parcial ou total da matéria-prima, utilizada no material convencional. Desta forma, o desenvolvimento de materiais alternativos de

desempenho similar aos tradicionais com custo inferior e com a vantagem de dar uma destinação aos resíduos se mostra bastante atrativa.

Tabela 1.2. Diferentes tipos de resíduos incorporados em argamassas.

Resíduos	Autores
Lodo têxtil + cinza pesada	[PRIM, 1998] [MENDES, 1998] [CASTILHOS et al, 1999]
Cinza de casca de arroz	[SANTOS, 1997]
Entulho	[MIRANDA, 2000] [LEVY et al, 1996]
Escória de alto-forno	[COUTO et al, 1999]
Granito	[CALMON et al, 1997]
Borracha	[OLIVEIRA et al, 1999]
Areia de fundição	[SCMIDT, 2000] [BONIN, 1995]
Pó de serra	[GRANDI, 1995]
Cinza preta e Grits	[BRESCANSIN, 2000]

1.2. Normas de caracterização de resíduos sólidos industriais

As normas brasileiras relativas à caracterização dos resíduos consistem essencialmente em determinar as características químicas e algumas características físicas, através da avaliação dos riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública, possam ter manuseio e destinos adequados. Para estes fins são previstas as seguintes normas (ESTRELLA, 1996):

a) NBR 10.004 – Resíduos Sólidos – Classificação:

Esta norma procura classificar os resíduos, quanto a sua potencialidade de agressão ao meio ambiente e a saúde pública, definindo três grupos de resíduos:

- Resíduos Classe I Perigosos
- Resíduos Classe II Não Inertes
- Resíduos Classe III Inertes

Todo resíduo é classificado quanto as suas características físicas, químicas e infecto-contagiosas.

b) NBR 10.005 – Lixiviação de Resíduos – Procedimentos:

O ensaio de lixiviação referente a NBR 10.005 é utilizado para a classificação de resíduos industriais, pela simulação das condições encontradas em aterros. A lixiviação classifica, um resíduo como tóxico ou não, seja classe I ou não [CAPONERO et al, 1999].

No ensaio de lixiviação, a amostra bruta deverá ter no mínimo 100 g a ser preparada, para que se tenha uma superfície específica superior à 3,1 cm²/g ou o material passar na peneira 9,5 mm, conforme especificações da referente norma. A fase sólida é colocada em água deionizada na proporção 16:1 e submetida a uma agitação por 24 h com pH ajustado no valor de 5.

c) NBR 10.006 – Solubilização de Resíduos – Procedimentos:

O ensaio de solubilização previsto na Norma NBR 10.006 é um parâmetro complementar ao ensaio de lixiviação, na classificação de resíduos industriais. Este ensaio tem por objetivo, a classificação do resíduo como inerte ou não, isto é, classe III ou não.

Uma amostra contendo 250 g de massa seca é colocada em 1 litro de água destilada ou deionizada e submetida à agitação durante 5 minutos; após 7 dias de repouso o material é então filtrado e o líquido submetido a uma análise química.

Conforme a norma NBR, a determinação de elementos solubilizados e lixiviados, é feita através de ensaios de curta duração em material previamente triturado a uma granulometria reduzida, imerso em um meio aquoso, podendo-se assim, deduzir o potencial poluente de uma matriz sólida [CAVALCANTE et al, 1996].

d) NBR 10.007 – Amostragem de Resíduos:

Esta norma é referente à coleta de resíduos, esta estabelece as linhas básicas que devem ser observadas, antes de se retirar qualquer amostra, com o objetivo de definir o plano

de amostragem (objetivo da amostragem, número e tipo de amostras, local de amostragem, frascos e preservação da amostra).

1.3. Resíduo da indústria têxtil

De acordo com a CETESB [1991], a geração do resíduo (lodo) da indústria têxtil, ocorre após o processamento das fibras. A transformação da fibra crua em tecido não acabado ou em fios é uma operação a seco, com exceção da fase de lavagem da lã crua. As demais operações de acabamento constituem a parte mais importante da indústria, sob o ponto de vista de geração de despejos líquidos, as quais após tratamento, resultam em água tratada e efluente têxtil, sendo este o material chamado de resíduo têxtil.

Para se fabricar tecidos ou peças acabadas, a indústria têxtil utiliza grande quantidade de água e muitos produtos químicos, provocando a geração de despejos de composição complexa. O destino final destes efluentes tem sido normalmente os corpos d'água, porém devem estar dentro dos padrões ambientais, necessitando de tratamento. O tratamento é realizado em estações de tratamento de efluentes (ETE) situadas geralmente junto ao parque industrial.

O autor PRIM [1998] em seu trabalho mostrou que os efluentes passam por uma série de tratamentos físicos, biológicos e químicos onde se utiliza em algumas etapas muitos produtos químicos, para que o efluente ao final do tratamento, obtenha as características exigidas pelos órgãos ambientais, a fim que esse possa ser lançado em corpos d'água.

Os principais produtos do tratamento de águas residuais são:

- a) água tratada
- b) os resíduos ou suspensões de sólidos obtidos como subprodutos.

O estudo realizado por ESTRELLA [1996] mostrou que o resíduo proveniente de sistemas de tratamento, apesar de ter consistência semi-sólida, é considerado como um resíduo sólido, conforme as definições da "Environmental Protection Agency" (EPA), da CETESB e da NBR 10.004.

MENDES [1998] apresentou uma classificação dos resíduos, dependendo da sua origem, podendo ser primários e secundários. Os primários são aqueles obtidos naturalmente

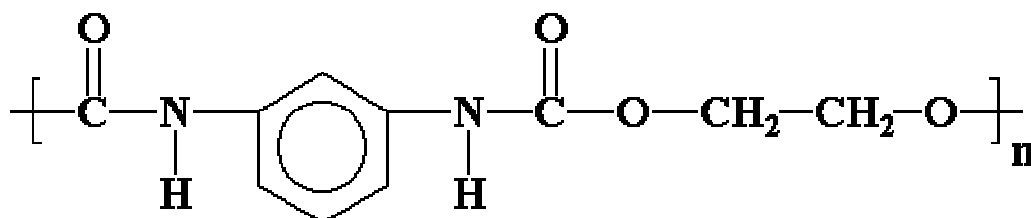
por sedimentação ou flotação, de parte do material sólido em suspensão, sem utilização de produtos químicos. Na classe dos lodos químicos, estão aqueles cuja obtenção ocorre com auxílio de produtos químicos. Os secundários são obtidos, com a utilização de floculantes, o que permite a decantação pela ação da gravidade e aglomeração das partículas e os floculantes.

O resíduo pode ser empregado na agricultura, incinerado ou estabilizado. O resíduo após estabilização pode ser uma matéria-prima alternativa no desenvolvimento de novos materiais e produtos ou enviado para aterros industriais.

1.4. Poliuretano

São polímeros que apresentam o grupo uretano em sua estrutura, além de outros como éter, éster, uréia. São produzidos a partir da reação de isocianatos com polióis, principalmente.

Já que a funcionalidade dos reagentes principais pode ser ajustada, uma grande variedade de polímeros podem ser formados.



Fórmula estrutural do poliuretano [BLASS, 1988].

ALBUQUERQUE [1999] em seu estudo apresentou certas características do poliuretano, sendo uma delas, a atoxicidade como também a elevada resistência à tração com grande alongamento até a ruptura. Se comparado com as borrachas, o poliuretano possui elevado módulo de elasticidade.

De acordo com ALBUQUERQUE [1999] o poliuretano apresenta as seguintes características:

- Excelente resistência ao desgaste;
- Excelente resistência ao ataque de óleos, solventes, graxas, benzina e benzeno;
- Excelente adesão a metais;
- Alta resistência ao corte;
- Ótima flexibilidade;
- Boa resistência à compressão, à tração e ao impacto;
- Grande variação de dureza;
- Atóxico;
- Baixo índice de absorção de umidade;
- Excelente resistência à oxidação;
- Até 110 °C mantém estabilidade dimensional por pequenos períodos;

As propriedades gerais das espumas dependem da formulação: flexível ou rígida, densidade, quantidade de poros (células) e o grau de reticulação.

1.5. Cimento portland

O cimento Portland é um aglomerante hidráulico obtido da moagem do clínquer, através da clinquerização de uma mistura de proporções adequadas de calcário e argila [SILVA et al, 1999 ; NEVILLE, 1997 ; METHA, 1994]. Nessa moagem, adiciona-se um teor mínimo de gipsita (sulfato de cálcio para controlar o tempo de pega, ou seja, o tempo de início das reações do aglomerante com a água. Desta forma o cimento Portland é formado essencialmente por compostos que possuem cálcio e sílica em sua composição).

Existem cinco tipos de cimento Portland, com teores variáveis de compostos do clínquer.

Os principais compostos do cimento portland são os seguintes:

- $C_2S - 2CaO.SiO_2$ – Silicato Dicálcico – Tem pega lenta, com fraca resistência até os 28 dias, aumentando então rapidamente. Possui baixo calor de hidratação.
- $C_3S - 3CaO.SiO_2$ – Silicato Tricálcico – Composto essencial do Cimento Portland. Reage em poucas horas.

- $C_3A - 3CaO \cdot Al_2O_3$ – Aluminato Tricálcico. Tem pega instantânea (necessidade de adicionar gesso), principal responsável pelo caráter exotérmico da reação de hidratação do cimento.
- $C_4AF - 4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$ – Ferro-Aluminato Tetracálcico. Possui pega rápida. A hidratação do cimento portland ocorre na presença de água. Os silicatos e aluminatos formam produtos de hidratação que, com o transcorrer do tempo, dão origem a uma massa firme e resistente. A velocidade de hidratação decresce continuamente em função do tempo [NEVILLE, 1997].

- Silicatos de Cálcio:

A hidratação dos silicatos se dá algumas horas após o início da hidratação do cimento. A hidratação do C_3S e do C_2S origina silicatos de cálcio hidratados que possuem composição química muito variada e são representados por C-S-H e hidróxido de cálcio $Ca(OH)_2$, compostos que preenchem o espaço ocupado pela água e pelas partículas do cimento em dissolução. De acordo com PRIM [1998] os compostos hidratados são aparentemente amorfos, porém observa-se na microestrutura do material um caráter cristalino. Sua forma predominante é fibrosa, maciça ou oca, com comprimento variando entre 0,5 μm e 0,2 μm , e largura menor que 0,2 μm . O $Ca(OH)_2$ liberado pela hidrólise do silicato de cálcio forma delgadas lâminas hexagonais.

- Aluminatos hidratados:

A reação do C_3A com a água é muito rápida, resultando em um enrijecimento imediato, conhecido como pega instantânea; para evitar que isso ocorra, adiciona-se a gipsita ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$).

1.5.1. Mecanismo de pega

A pega é a mudança da pasta de cimento do estado fluído para o estado sólido. É causada por uma reação seletiva de compostos do cimento. Os dois principais compostos que reagem são o C_3A e o C_3S .

O tempo de início da pega transcorre desde a adição de água, até o início das reações de hidratação. Observa-se o aumento na viscosidade e temperatura, e diminuição da

trabalhabilidade das argamassas do cimento. O fim da pega acontece quando a massa do cimento pára de se deformar, tornando-se um bloco rígido, porém, de baixa resistência. O endurecimento tem início com o fim da pega e caracteriza-se pelo aumento em coesão e resistência [NEVILLE, 1997, YANG, 2001].

1.6. Agregado

O agregado é um material granular, sem forma e volume definidos, de origem natural ou sintéticos, relativamente inertes, de dimensões e propriedades adequadas para uso em obras de engenharia, compondo as argamassas e concretos.

O objetivo da adição do agregado nas argamassas e concretos é técnica e econômica.

MEHTA [1994] mostrou em seu trabalho que a finalidade técnica do agregado é de resistir aos esforços solicitantes. O agregado é, também, mais durável e mais resistente que a pasta de cimento pura.

O objetivo econômico é diminuir o consumo do aglomerante ; o agregado custa menos que o cimento e, portanto, é econômico usar a menor quantidade possível de cimento.

De acordo com a norma NBR 7211 (agregados para concreto) os agregados são classificados em dois tipos de tamanho: a) agregados miúdos e b) agregados graúdos.

a) Agregados miúdos: são areias de origem natural ou resultante do britamento de rochas estáveis, ou a mistura de ambos, cujos grãos passam pela peneira ABNT 4,8 mm e ficam retidos na peneira ABNT 0,075 mm.

b) Agregados graúdos: são classificados como grãos que passam por uma peneira de malha quadrada com abertura nominal de 125 mm e ficam retidos na peneira ABNT 4,8 mm. São provenientes de rochas estáveis como pedregulho ou brita, ou a mistura de ambos.

Por definição, granulometria é a distribuição de grânulos com diversos tamanhos. A denominação análise granulométrica é dada à simples operação de separar uma amostra de agregado em frações, cada uma delas consistindo de partículas de igual tamanho. Uma análise granulométrica é realizada quando se deseja obter informações quantitativas da distribuição de tamanhos de grânulos presentes [NEVILLE, 1997].

A análise granulométrica é determinada através da norma NBR 7217, que especifica o método de ensaio, para determinação da composição granulométrica de agregados para concreto. Nesta norma, o resultado é expresso em porcentagem retida acumulada em cada peneira. Além disso, determina-se também, a dimensão máxima característica e o módulo de finura do agregado. Por dimensão máxima característica entende-se a abertura nominal, em mm, da malha da peneira na qual o agregado apresenta uma porcentagem retida acumulada igual ou imediatamente inferior a 5% em massa. O módulo de finura é calculado como a soma das porcentagens retidas acumuladas em massa de um agregado, nas peneiras da série normal, dividida por 100.

Módulo de finura é definido como a soma das porcentagens acumuladas retidas nas peneiras da série normal: 150 μ m, 300 μ m, 600 μ m; 1,18 mm; 1,36 mm; 5 mm, até a maior peneira usada.

CINCOTTO et. al. [1999] mostram que o módulo de finura (MF), que especifica a areia a ser empregada, em argamassas como areia fina, média ou grossa, de acordo com valores adotados conforme segue:

$$MF > 3,0 = \text{areia grossa}$$

$$3,0 \geq MF \geq 2,0 = \text{areia média}$$

$$MF < 2,0 = \text{areia fina}$$

O valor do módulo de finura é tanto maior quanto mais grosso for o agregado [MEHTA, 1994].

MIRANDA [2000] cita em seu estudo que a granulometria dos agregados para argamassas deve ser preferencialmente contínua, o que conduz a uma melhor trabalhabilidade e a uma redução do volume de pasta e dos efeitos da retração por secagem dos revestimentos, como consequência do menor consumo de água nas argamassas.

TRISTÃO [1995] atribuiu às areias as funções de redução de custos e também a de conferir às argamassas propriedades que a pasta não possui. O autor cita a influência das características granulométricas da areia nas propriedades da argamassa, conforme mostrado na tabela 1.3.

Tabela 1.3. Influência das características granulométricas do agregado nas propriedades das argamassas [TRISTÃO, 1995].

Propriedades	Características da Areia		
	Quanto menor o módulo de finura	Quanto mais descontínua for a granulometria	Quanto maior o teor de grãos angulosos
Trabalhabilidade	Melhor	Pior	Pior
Retenção de água	Melhor	Variável	Melhor
Resiliência	Variável	Pior	Pior
Retração na secagem	Aumenta	Aumenta	Variável
Porosidade	Variável	Aumenta	Variável
Aderência	Pior	Pior	Melhor
Resistências mecânicas	Variável	Pior	Variável
Impermeabilidade	Pior	Pior	Variável

Variável – quando não existe uma influência definitiva ou quando esta influência depende de outros fatores.

1.7. Argamassas

Argamassa, segundo a NBR 7200 da ABNT é uma mistura de aglomerantes e agregados minerais com água, possuindo capacidade de endurecimento e aderência.

FILOMENO [1993] mostrou que embora a argamassa e o concreto tenham semelhanças, suas funções e empregos são diferentes. O concreto é considerado um elemento estrutural e a argamassa é utilizada para unir os elementos que formarão uma estrutura.

a) Argamassa de assentamento

Conforme o estudo realizado por FILOMENO [1993] as argamassas de assentamento não têm forma definida, mas possuem uma função específica: destina-se ao assentamento de unidades de alvenaria. A argamassa de assentamento, forma a junta de argamassa, que é um componente com forma e funções bem definidas:

a) Unir as unidades de alvenaria e ajudá-las a resistir aos esforços laterais;

- b) Distribuir as cargas atuantes na parede, por toda a área submetida aos esforços;
- c) Absorver as deformações naturais a que a alvenaria estiver sujeita;
- d) Selar as juntas contra a penetração de água da chuva.

Segundo FIORITO [1994] as principais propriedades da argamassa de assentamento são:

1 - Trabalhabilidade: quando se distribui com facilidade ao ser assentada, preenchendo todos os vazios. Não se separa ao ser transportada, não endurece quando toca blocos de sucção alta, e permanece plástica por um bom tempo.

2 - Retentividade de água: está relacionada com a manutenção da consistência da argamassa. É a propriedade da argamassa de não perder a água que possui para o elemento onde foi assentada.

3 - Aderência: a aderência é um processo mecânico da argamassa, que se ancora na alvenaria pela penetração nas suas reentrâncias. Aderência é a propriedade do revestimento de resistir a tensões normais ou tangenciais nas superfícies de interface com o substrato.

4 - Resistividade mecânica: o principal esforço que a argamassa de assentamento sofre é o de compressão. Também sofre, flexão e cisalhamento, por esforços laterais nas paredes, porém em menor quantidade.

b) Argamassa de revestimento

Revestimento é o recobrimento de uma superfície lisa ou áspera, com uma ou mais camadas superpostas de argamassa, com espessura via de regra uniforme, apta a receber, sem danos, uma decoração final.

Nas edificações, uma das maiores razões de falha das argamassas de revestimento, está relacionada com a perda ou falta de aderência ao substrato. Assim, a capacidade da argamassa de atingir uma completa resistência e durável aderência com o substrato, talvez seja, a sua mais importante propriedade em se tratando de aplicações em revestimentos.

Entre os usos importantes dos revestimentos argamassados, pode-se citar FIORITO [1994]:

- ✓ estanqueidade à água;

- ✓ conforto térmico;
- ✓ isolamento acústico;
- ✓ resistência ao fogo;
- ✓ regularização da base;
- ✓ aparência e decoração;
- ✓ proteção da base;
- ✓ rigidez do substrato.

Os revestimentos externos servem principalmente, para aumentar a durabilidade da obra, reduzir a penetração da água da chuva e em certos casos, melhorar a aparência das bases de alvenaria.

1.7.1. Preparação de argamassas

FILOMENO [1993] mostrou que as argamassas caracterizam-se, por apresentarem elevada plasticidade, quando recém-misturadas e rigidez quando endurecidas. Estas propriedades determinam seu emprego no revestimento de elementos de alvenaria, como os blocos e tijolos entre outras aplicações.

Denomina-se composição unitária ou "traço", nome utilizado normalmente na construção civil, à proporção relativa entre os constituintes da argamassa, exceto a água. A composição unitária pode ser dada em porcentagem de volume ou de massa, tomando-se como unidade o volume ou a massa do aglomerante. No caso das argamassas mistas, aquelas que possuem mais de um aglomerante, convencionou-se, que a unidade é o cimento, por ser o aglomerante que resulta em maiores resistências [FIORITO, 1994].

Representa-se a composição unitária por uma relação numérica, por exemplo, 1 : 2 : 9 em volume corresponde à argamassa dosada com um volume unitário de cimento, 2 volumes unitários de cal e 9 de areia [PINTO, 1996] .

Definido a composição unitária da argamassa a ser produzida, o primeiro passo a seguir, é estabelecer a relação dos constituintes. Como a composição unitária pode ser dada em porcentagem de volume, deve-se empregar um recipiente com capacidade previamente conhecida, para garantir, as quantidades medidas das matérias-primas utilizadas, na relação da composição unitária. Neste caso, recomenda-se, o emprego de recipientes feitos com materiais

que não venham a se deformar com o uso, alterando a sua capacidade volumétrica com o tempo. Cientificamente, a dosagem em porcentagem de massa é a mais adotada, em função da precisão obtida.

Quanto ao tempo de mistura na betoneira ou argamasseira, recomenda-se, que seja o suficiente para se obter homogeneidade e uniformidade de cor da mistura como parâmetro, a recomendação, é que este tempo não ultrapasse os 5 minutos e não seja menor que 3 minutos [FILOMENO, 1993].

Para as argamassas contendo matérias-primas alternativas (resíduos sólidos) tenham uso adequado, torna-se necessário, caracterizar a morfologia destas matérias-primas, verificar as características de propriedades mecânicas e da microestrutura do material obtido, além das características físico-químicas, pois a utilização destas matérias-primas numa argamassa está diretamente relacionadas com estas características, assim o novo material deve satisfazer as necessidades exigidas a cada tipo de aplicação.

1.8. Resíduos industriais aplicados na construção civil

O reaproveitamento e utilização de certos materiais considerados como resíduos, permitem que estes retornem ao ciclo de processamento industrial, otimizando a relação energia/meio ambiente/materiais, o que acarreta num melhor aproveitamento dos recursos, sejam eles materiais ou energéticos. No entanto, é necessário desenvolver novos métodos e técnicas, para que estas fontes alternativas possam ser incorporadas, na elaboração de um novo material ou produto. Estes novos materiais ou produtos obtidos, a partir de alternativas, devem ser comparados aos produtos convencionais em aparência, propriedades e características ambientais. Dar um destino nobre para estes subprodutos, constitui um grande desafio.

O autor JOHN [2000] mostrou em seu trabalho, que a construção civil pode ser uma grande consumidora de resíduos provenientes de processos industriais. Segundo o autor, o setor é atualmente um grande reciclador de resíduos industriais. A indústria cimenteira recicla aproximadamente mais de 5 milhões de toneladas por ano de escória de alto forno, cinzas volantes e pneus.

A seguir será apresentado alguns resultados relacionados ao reaproveitamento de resíduos industriais na elaboração de materiais para construção civil.

1.8.1. Resíduo areia verde de fundição

Os processos de fusão dos metais ferrosos vêm provocando vários tipos de poluição ambiental, entre os quais destaca-se, a geração significativa de resíduos sólidos industriais, os quais necessitam ter uma destinação adequada. Como alternativa de tratamento e disposição final desses resíduos, aparece o reaproveitamento do resíduo, como uma fonte alternativa, no desenvolvimento de novos materiais, que podem ser utilizados na construção civil ou em outras áreas de aplicação.

O trabalho realizado por SCHMIDT [2000] sobre a elaboração e caracterização de uma argamassa, para aplicação na construção civil, obtida a partir da adição de composições unitárias de resíduo de areia verde de fundição aglomerada com bentonita, em substituição ao agregado fino convencionalmente utilizado (areia).

Neste estudo o autor realizou a caracterização da morfologia das matérias-primas, areia verde de fundição e do cimento Portland CPV-ARI-RS.

Como resultado deste estudo o autor observou que a areia verde de fundição é formada por grânulos com formas irregulares e recobertas com uma certa quantidade de bentonita, conforme ilustrado na Figura 1.1. O estudo de microanálise por EDX mostrou que a areia verde é basicamente constituída por Na, Mg, Al, Si, K, Ca, Fe, como mostrado no espectro de EDX (Figura 1.2).

Para obtenção de melhores resultados o autor complementou o estudo realizando uma análise granulométrica segundo norma NBR 7217, da areia nova e areia verde de fundição, esses resultados estão ilustrados nas tabelas 1.4 e 1.5. A Figura 1.3 mostra a morfologia do cimento Portland CPV-ARI, onde o autor observou uma heterogeneidade da forma e tamanho das partículas, constituintes do cimento. Outra observação feita pelo autor foi a presença de grande quantidade de cinzas, ilustrado pelas partículas mais finas presentes na Figura 1.3.

A argamassa foi preparada inicialmente utilizando somente areia nova/cimento/água, fornecendo material denominado matriz. A preparação desta foi realizada segundo a NBR 12821, a composição unitária utilizada para produção da argamassa seguiu a relação: 1,0 (cimento)/3,9 (areia)/ 0,8 (água).

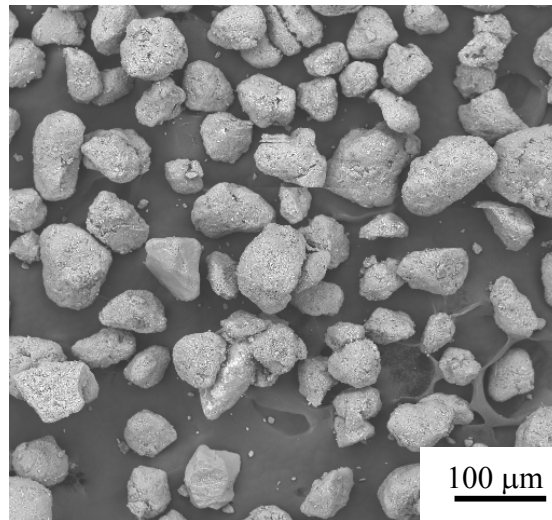


Figura 1.1. Micrografia mostrando a forma e dispersão do tamanho dos grânulos [SCHMIDT, 2000].

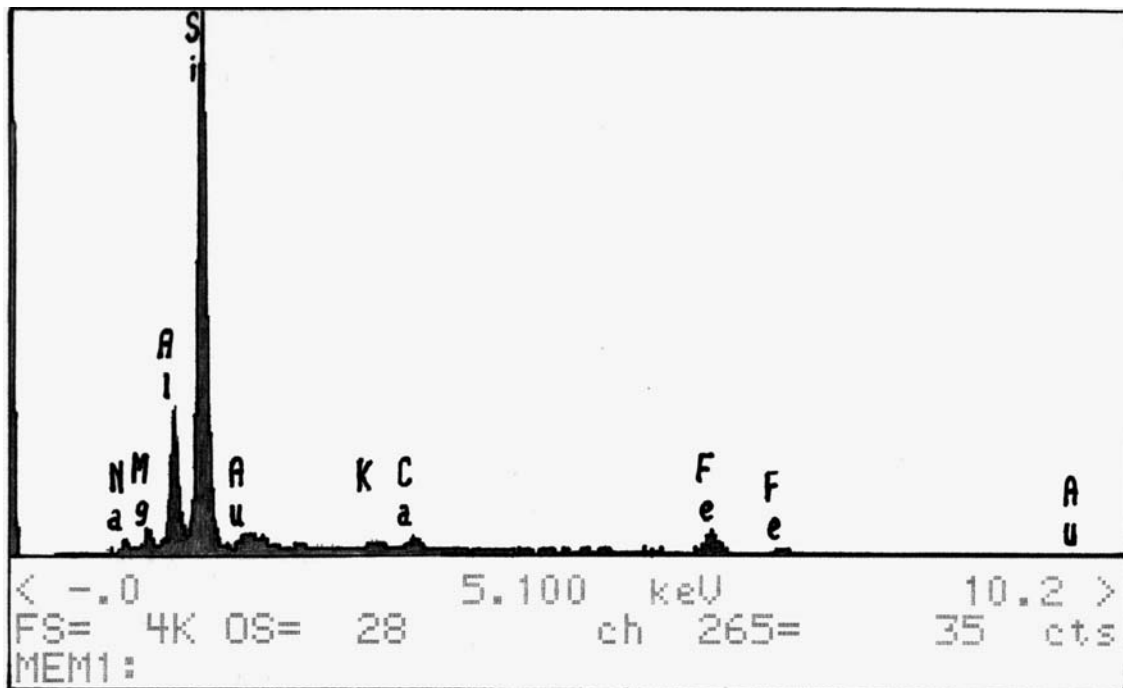


Figura 1.2. Espectro de EDX indicando os elementos químicos que constituem o resíduo areia verde de fundição [SCHMIDT, 2000].

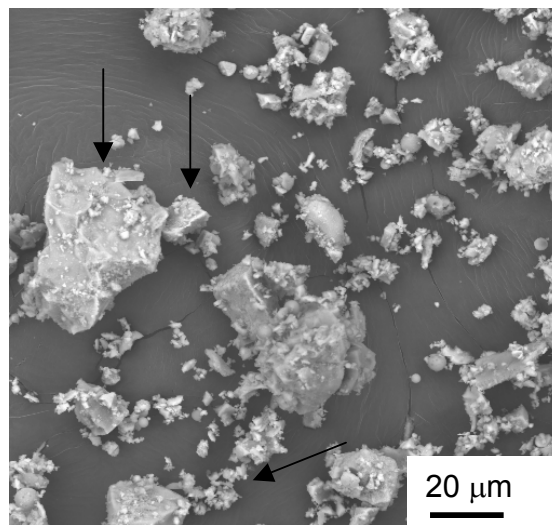


Figura 1.3. Morfologia do cimento, mostrando a heterogeneidade das partículas e a presença de cinzas [SCHMIDT, 2000].

Tabela 1.4. Valores representando a granulometria do resíduo de areia verde de fundição [SCHMIDT, 2000].

Número ABNT #	% RETIDA	
	INDIVIDUAL	ACUMULADA
20	0,93	0,93
30	3,77	4,70
40	9,79	14,49
50	15,00	29,48
70	32,07	61,56
100	19,28	80,84
140	17,11	97,95
200	1,50	99,45
270	0,43	99,88
Prato	0,12	100

Tabela 1.5. Resultado da análise granulométrica da areia nova (agregado fino) [SCHMIDT, 2000].

Número ABNT #	% Retida	% Retida
	INDIVIDUAL	ACUMULADA
20	31,72	31,72
30	18,29	50,01
40	20,11	70,12
50	12,13	82,25
70	10,83	93,09
100	3,54	96,62
140	2,43	99,05
200	0,38	99,43
270	0,20	99,64
Prato	0,36	100

Neste trabalho, as quantidades de areia verde incorporadas na argamassa variaram de 5 a 100% em volume. As composições unitárias utilizadas pelo autor na preparação das diferentes amostras estão representadas na Tabela 1.6.

O autor observou, que com o aumento de areia verde em volume na substituição da areia nova, melhorava a plasticidade da massa cerâmica, ele explica que isto pode ter ocorrido, devido a presença de bentonita que recobre os grânulos da areia verde, favorecem a plasticidade da massa cerâmica.

Tabela 1.6. Representando as composições unitárias utilizadas na produção das argamassas [SCHMIDT, 2000].

%Resíduo	Cimento [x 10 ⁻³ m ³]	Areia [x 10 ⁻³ m ³]	Areia Verde [x 10 ⁻³ m ³]	Água [x 10 ⁻³ m ³]
0%	1,58	6,16	0	1,26
5%	1,58	5,84	0,32	1,26
10%	1,58	5,535	0,615	1,26
15%	1,58	5,22	0,922	1,26
20%	1,58	4,92	1,26	1,26
25%	1,58	6,77	1,69	1,26
30%	1,58	4,31	1,85	1,26
50%	1,58	3,08	3,08	1,5
75%	1,58	1,54	4,62	1,5
100%	1,58	0	6,16	1,5

Para cada argamassa preparada foram moldados 10 corpos-de-prova retangulares, de dimensões 150x100x30 mm.

Os corpos-de-prova moldados foram secos em estufa, onde permaneceram por 12 horas à temperatura de 50 °C.

Os resultados de propriedades mecânicas serão apresentados no item 1.9.

1.8.2. Resíduo da indústria de papel

Atualmente devido a fiscalização ambiental e a preocupação com a natureza e o ser humano muitos trabalhos vem sendo realizados sobre a reciclagem e reaproveitamento de resíduos. Sabendo que toda indústria de celulose, é grande geradora de resíduos e muitos desses apresentam características físicas e químicas semelhantes ao do cimento ou de um granulado, muitos trabalhos estão sendo desenvolvidos, procurando utilizar determinados resíduos, como uma fonte alternativa, na preparação de argamassa, para aplicação na construção civil.

O trabalho desenvolvido por [BRESCANSIN, 2000], sobre o reaproveitamento de resíduo sólido originário da indústria de celulose, onde foram utilizados a cinza preta e grits, sendo a matéria-prima denominada de cinza preta utilizada em substituição ao cimento e a matéria-prima chamada de grits, em substituição ao agregado fino. Na preparação das amostras, o autor utilizou concentrações em volume, de 5 a 10% de cinza preta e também de 5 a 10% para o caso do grits. Também realizou um estudo de caracterização da morfologia e da granulometria das matérias-primas alternativas. A distribuição granulométrica e características físicas do agregado fino (areia) estão representadas na tabela 1.7. Para análise granulométrica do resíduo sólido grits, foi utilizado somente o que se entende por parte fina (peneira 10 – 2 mm). A tabela 1.8 apresenta o resultado da análise granulométrica do resíduo grits.

No estudo de caracterização da morfologia do cimento Portland (CPII-Z 32) o autor observou, uma dispersão do tamanho das partículas (Figura 1.4). Outra observação feita pelo autor foi à presença de pozolanas (formas esféricas) e grande quantidade de cinza no cimento, representadas pelas partículas mais finas na Figura 1.4. Para o caso da cinza preta, o autor constatou uma dispersão do tamanho e forma das partículas, conforme mostrado na Figura 1.5.

O resíduo Grits foi utilizado em substituição a areia, apresentou uma morfologia bem distinta. Em forma de grânulos, eles são constituídos por finas partículas aglomeradas, conforme mostrado na Figura 1.6. O estudo de caracterização da morfologia da areia permitiu identificar que esta é formada por grânulos como ilustrado na Figura 1.7. Outra observação foi a presença de argila que recobre os grânulos da areia.

Tabela 1.7. Distribuição granulométrica do agregado fino [BRESCANSIN, 2000].

Abertura da Peneira (mm)	Massa retida na peneira (%)
2,38	0
2,00	0,05
1,19	0,17
0,59	8,58
0,42	29,84
0,29	61,36

Tabela 1.8. Distribuição granulométrica do resíduo grits [BRESCANSIN, 2000].

Abertura da Peneira (mm)	Massa retida na peneira (%)
2,38	1,77
2,00	3,73
1,19	6,64
0,59	12,89
0,42	16,25
0,29	18,22
0,149	19,70
0,074	20,80

A argamassa foi preparada segundo a NBR 12821, as composições unitárias utilizadas na produção das argamassas, estão descritas na tabela 1.9. Para cada composição unitária, foram moldados corpos-de-prova cilíndricos, conforme a NBR 7215, com dimensões 50mm de diâmetro x 100 mm de comprimento.

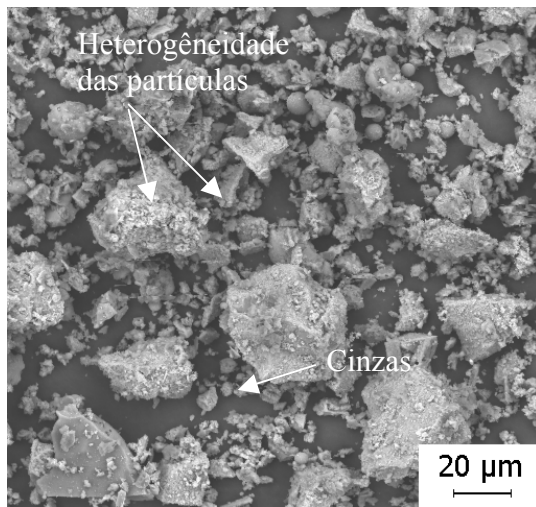


Figura 1.4. Morfologia do cimento mostrando a dispersão do tamanho das partículas, presença de cinzas [BRESCANSIN, 2000].

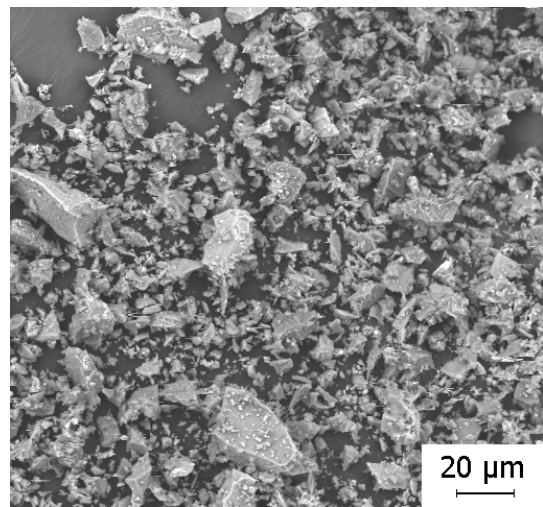


Figura 1.5. Morfologia da cinza preta mostrando a dispersão do tamanho das partículas [BRESCANSIN, 2000].

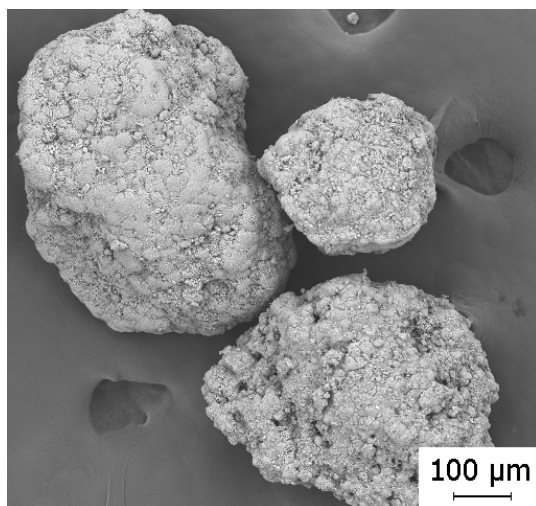


Figura 1.6. Morfologia do resíduo grits, "in natura" [BRESCANSIN, 2000].

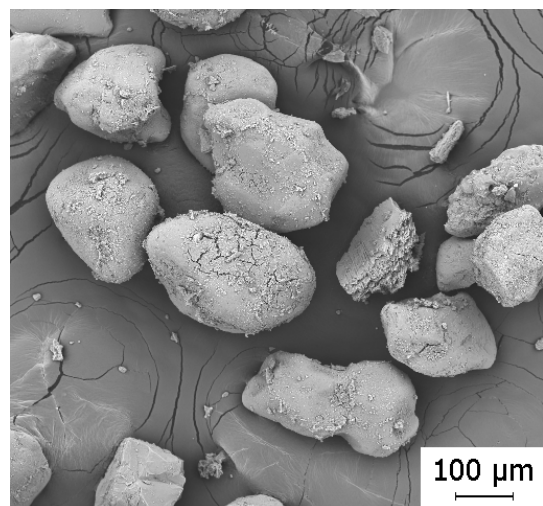


Figura 1.7. Morfologia da areia [BRESCANSIN, 2000].

A cura dos corpos-de-prova foi realizada em meio saturado em solução de cal por 28 dias. Os corpos-de-prova retirados da cura saturada foram submetidos ao ensaio de compressão axial.

O aproveitamento de resíduos na construção civil é uma alternativa interessante e um potencial inovador, além de reduzir custos, poderá servir de auxílio, no desenvolvimento de novos materiais cerâmicos ou compósitos, podendo melhorar consideravelmente algumas características de propriedades destes novos materiais.

Tabela 1.9. Representando as matérias-primas utilizadas na produção de argamassas [BRESCANSIN, 2000].

ARGAMASSAS	CIMENTO (g)	AGREGADO FINO (g)	CINZA PRETA (g)	Grits (g)	ÁGUA (ml)
Ref. (R)	624	1872	0	0	300
(A)	592,8	1872	27	0	300
(B)	561.6	1872	54	0	300
(C)	624	1779	0	49	300
(D)	624	1686	0	98	300
(E)	624	1593	0	147	300
(F)	624	1500	0	196	300
(G)	624	1407	0	245	300

1.9. Características das propriedades mecânicas e da microestrutura de diferentes argamassas

No estudo de MELO et al [1999] mostraram que a estrutura endurecida na pasta de cimento Portland bem hidratada compõe-se basicamente de sólidos, espaços vazios e água. As quatro fases sólidas principais são silicato de cálcio hidratada (C-S-H), hidróxido de cálcio

(CH), aluminatos de cálcio hidratado e/ou sulfoaluminatos (C-A-H, AFt e AFm) e finalmente alguns grãos de cimento anidro.

A fase C-S-H constitui de 50% a 60% do volume sólido de uma pasta de cimento completamente hidratada. Sua morfologia varia de fibras pouco cristalinas a um reticulado cristalino, e sua resistência mecânica é principalmente atribuída a forças de Van der Waals, devido à estrutura em camadas com uma área específica elevada. Esta fase é a maior responsável pela resistência mecânica do concreto ou argamassa. Os cristais de CH (20% a 25% do volume de sólidos na pasta hidratada), têm tendência em formar cristais longos (1 μm), sob a forma de prismas hexagonais distintos, (formas não definidas até pilhas de placas geometricamente bem definidas). A morfologia do CH é afetada pelo espaço disponível, temperatura de hidratação e impurezas presentes. Nas primeiras idades, o CH é facilmente encontrado nos espaços vazios presentes na massa. O potencial de contribuição, devido às forças de Van der Waals, para a resistência mecânica é menor, conseqüência de uma área específica muito menor [MEHTA, 1994].

As fases AFt, AFm e C-A-H (15% a 20% do volume de sólidos na massa endurecida) têm um papel menor na relação estrutura-propriedade [MELO et al, 1999].

Determinadas características específicas dos resíduos, favorecem o seu reaproveitamento ou utilização de novos materiais ou produtos, como granulometria, composição química pré-definida e densidade.

Alguns autores apresentaram em seus trabalhos (tabela 1.9) as características de propriedades mecânicas das argamassas com adições de resíduos. Os resultados apresentados por estes autores indicam que, a presença de uma menor ou maior quantidade de resíduos incorporadas numa massa cerâmica, podem influenciar sobre as propriedades finais do novo material.

Os ensaios mais freqüentes utilizados na determinação das propriedades mecânicas, dos materiais obtidos a partir de matérias-primas alternativas são: os ensaios em compressão e em flexão três ou 4 pontos. Estes ensaios servem de apoio, na avaliação das características de propriedades mecânicas destes novos materiais e auxiliam na avaliação do desempenho destes, em relação às quantidades de resíduos incorporadas e os materiais convencionais. Os ensaios em compressão e em flexão permitem determinar:

- Resistência à Compressão: embora não seja a grandeza de maior importância na avaliação do desempenho de argamassas; esta propriedade é usada para avaliar a influência dos materiais cerâmicos na resistência das argamassas.
- Resistência à Tração: esta é uma das propriedades mais importantes a ser caracterizada em uma argamassa de revestimento, uma vez que a maioria deles está sujeito a esforços de tração.

1.9.1. Características microestruturais

A caracterização microestrutural de um material, de uma maneira geral é realizada sobre superfície de fratura dos fragmentos recuperados do ensaio mecânico, com ajuda da técnica de microscopia eletrônica de varredura. Essa técnica permite observar a microestrutura do material, identificando a formação do gel e a existência de cristais anidritos na microestrutura, microfissurações e defeitos.

a) Material obtido com areia verde de fundição

SCHMIDT [2000] mostrou em seu trabalho, os resultados do estudo de caracterização microestrutural, obtidos sobre a superfície de fratura para os diferentes materiais constituídos pelos diferentes traços de areia verde na argamassa. A Figura 1.8, mostra a microestrutura de fratura, referente ao material obtido com a composição unitária 1,0 (cimento)/3,9 (areia)/ 0,8 (água), o qual foi denominado matriz, onde se pode observar claramente a formação do gel, presença de microfissuras na interface gel/agregado fino, e a presença de cristais anidritos nas regiões mais porosas do material, conforme pode ser observado na Figura 1.9.

Outra observação foi em relação ao aumento da concentração da areia verde de fundição na argamassa, constatou-se, que esta, veio a inibir o crescimento dos cristais anidritos. A Figura 1.10 ilustra esta característica para o material obtido com 75% em volume de areia verde na argamassa.

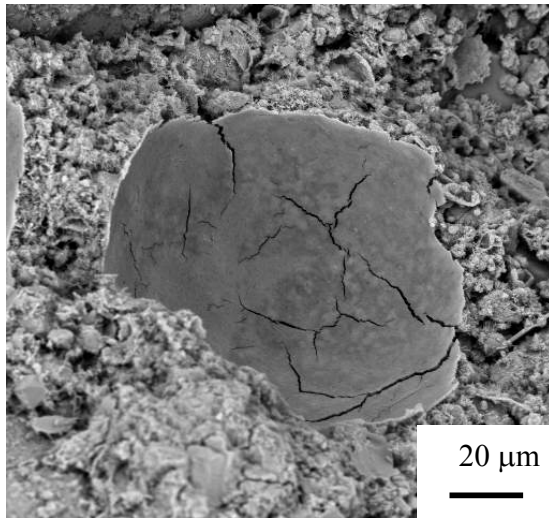


Figura 1.8. Microestrutura da matriz mostrando gel e microfissuras [SCHMIDT, 2000].

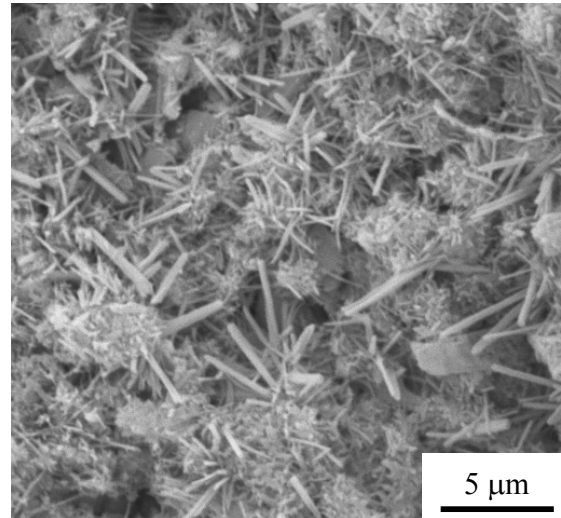


Figura 1.9. Microestrutura da matriz mostrando a presença dos cristais anidritos devido a hidratação [SCHMIDT, 2000].

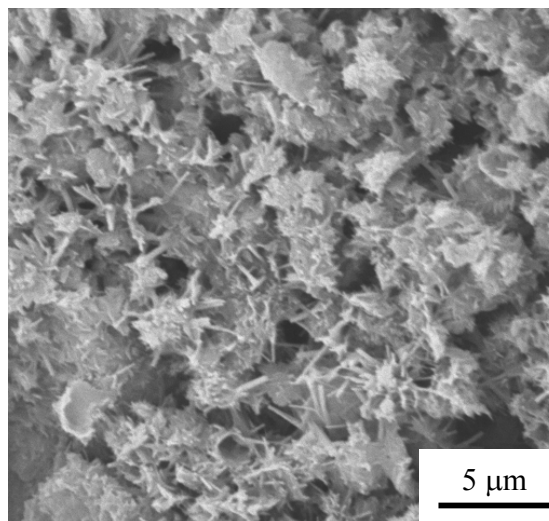


Figura 1.10. Microestrutura do material com 75% de areia verde de fundição ilustrando os pequenos cristais anidritos [SCHMIDT, 2000].

Para o material com 100% de Areia Verde de Fundição verificou-se, a existência de regiões preferenciais de germinação e crescimento dos cristais anidritos, possivelmente devido a grande quantidade de água dissolvida na argamassa.

b) Material obtido com resíduo da indústria de papel

No estudo apresentado por BRESCANSIN [2000], que utilizou na preparação de argamassas, quantidades de resíduos cinza preta e grits, sendo as quantidades de resíduos incorporadas na preparação da argamassa em porcentagem de massa. O autor elaborou amostras com 5% e 10% de cinza preta em substituição ao cimento e amostras com 5 e 10% grits em substituição ao agregado fino.

O material obtido com cimento/água/areia, denominado matriz, apresentou uma microestrutura porosa, crescimento dos cristais anidritos de forma heterogênea, (Figura 1.11).

Para o material contendo 10% em peso de cinza preta, observou regiões preferenciais de formação e crescimento dos cristais anidritos na argamassa (Figura 1.12).

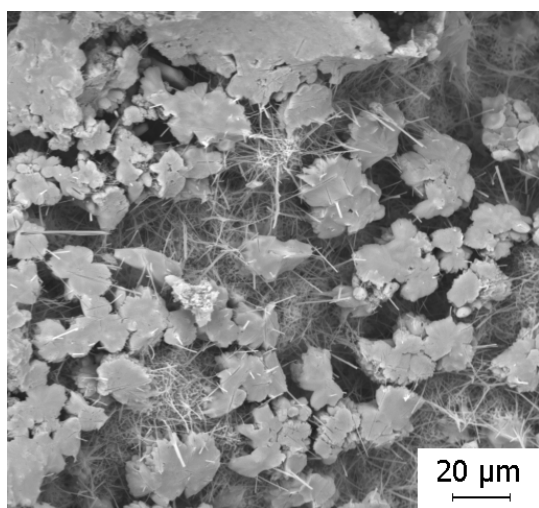


Figura 1.11. Microestrutura da superfície de fratura da matriz, apresentando porosidade e crescimento desordenado dos cristais anidritos [BRESCANSIN, 2000].

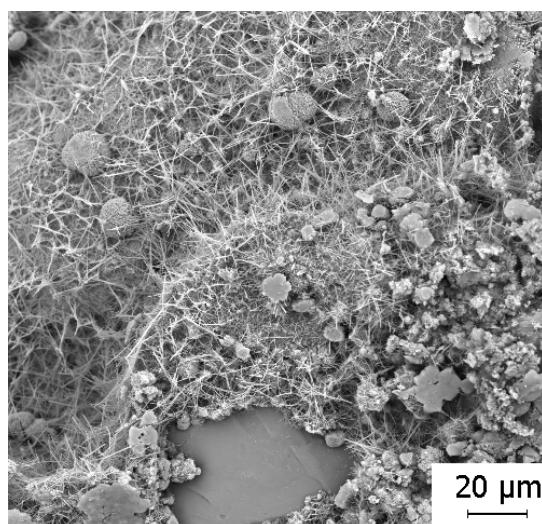


Figura 1.12. Microestrutura de fratura do material com 10% de cinza preta ilustrando os cristais anidritos [BRESCANSIN, 2000].

Para o material contendo 10% da matéria-prima alternativa grits, verificou-se o crescimento dos cristais anidritos desordenado e quantidade inferior de fibras de anidritos (Figura 1.13). Isto deve ter ocorrido possivelmente devido a presença do grits na argamassa.

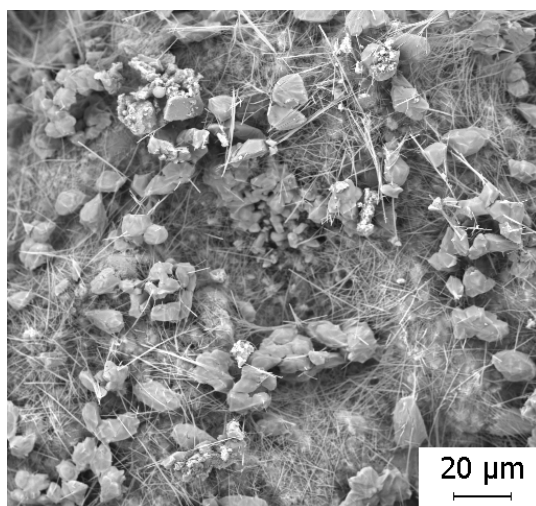


Figura 1.13. Microestrutura de fratura do material com 10% grits, apresentando a formação dos cristais anidritos [BRESCANSIN, 2000].

O autor explica também, que para o caso da matriz (cimento/areia/água), obteve-se uma microestrutura porosa com crescimento desordenado dos cristais anidritos, devido à grande presença de cinza observada no cimento, o que veio a inibir a formação do gel e a germinação e crescimento ordenado dos cristais anidritos.

Para o caso da microestrutura do material com 10% de cinza preta, o autor encontrou uma microestrutura menos porosa se comparado com a matriz, e uma distribuição mais ordenada dos cristais anidritos. Para o material com 10% de grits a porosidade observada foi menor, se comparada com as amostras anteriores, apresentando uma boa interface agregado/gel.

1.10. Mecânica da fratura

A mecânica da fratura teve sua origem histórica em 1920 com o inglês GRIFFITH, com a publicação da pesquisa sobre fissuras em vidro. Porém o grande avanço no estudo da

mecânica da fratura ocorreu durante a Segunda Guerra Mundial, devido a vários acidentes envolvendo navios de guerra.

A mecânica da fratura aplica-se aos materiais estruturais como um todo, desde os dúcteis (fratura elásticoplástica) até os que apresentam ruptura quase-frágil (materiais cimentícios, como as cerâmicas, os concreto, as argamassas e certas rochas).

Os cálculos teóricos de resistência estão baseados sobre a força necessária para separar dois planos atômicos, mostram valores muito superiores de 1 a 2 ordens de grandeza, para as resistências medidas experimentalmente [JORAND, 1991]. Isto é devido à presença de defeitos que propiciam o aparecimento de fissuras dentro da microestrutura do material, provocando a concentração de tensões localizadas, ultrapassando os valores de resistência teórica.

Em 1920, GRIFFITH formulou seu conceito de equilíbrio energético da ruptura. Até os dias atuais serve de referência para mecânica da fratura. GRIFFITH supôs que os sólidos frágeis continham defeitos de pequeno tamanho, a presença destes defeitos geram fissuras no material, provocando concentrações localizadas de tensões que ultrapassam os valores da resistência teórica.

O método de GRIFFITH foi complementado pelo método de IRWIN em 1964. Esses estudos são a base da mecânica linear elástica da fratura. Neste trabalho será apresentado somente os pontos essenciais da mecânica da fratura.

GRIFFITH supôs que os sólidos frágeis contêm defeitos de pequena grandeza e que esses defeitos são pontos de concentração de tensões.

Em sua análise, ele considera um equilíbrio energético no momento da propagação da fissura considerando elíptica pré-existente de comprimento $2a$ dentro de uma placa infinita de espessura unitária solicitada de maneira uniforme (figura 1.14).

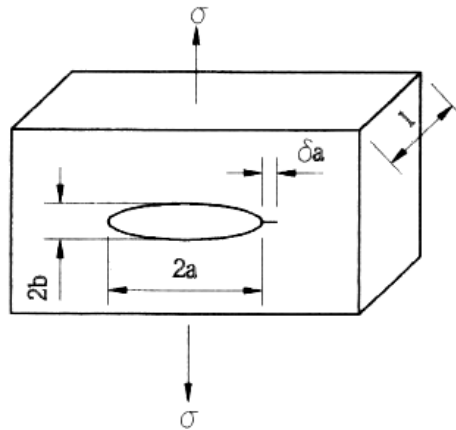


Figura 1.14. Placa infinita de espessura unitária solicitada de maneira uniforme contendo uma fissura elíptica.

De uma forma geral, há três modos de propagação da fissura, conhecidos como **Modo I** (modo de abertura), **Modo II** (modo de escorregamento) e **Modo III** (modo antiplano). No processo de fissuração e fraturamento esse modos podem ocorrer também de forma combinada [MURAT, 1990]. A figura 1.16 ilustrativa dos modos I, II e III.

Do ponto de vista da Mecânica da Fratura, as tensões que levam o material a fissurar (eventualmente até o colapso ou ruptura), no Modo I que é o mais simples, são as tensões de tração. Para um material isotrópico, homogêneo e elástico linear, as tensões à frente da ponta da fissura são, teoricamente, infinitas, ou seja, são singulares.

Isto quer dizer, quanto mais próximo da ponta da fissura estiver um dado ponto em análise, maiores serão as tensões nesse ponto.

Sendo:

$$U_T = U_{eo} + 4a\gamma_s - \frac{\pi}{E}(a^2\sigma^2) \quad (\text{Eq. 1.1})$$

onde:

U_{eo} = energia elástica da placa na ausência da fissura

$4a\gamma_s$ = energia superficial de fissura

$\frac{\pi}{E}(a^2\sigma^2)$ = um termo que corresponde à energia elástica devido à fissura

E = módulo de elasticidade do material.

A soma das energias passa por um máximo (figura 1.15): no momento que a falha atinge um valor crítico a_c , e a fissura se propaga de maneira catastrófica.

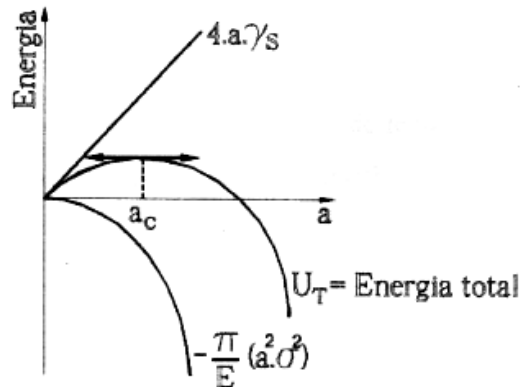


Figura 1.15. Soma das energias em função de a [FANTOZZI, 1988].

A condição de equilíbrio é obtida pela relação :

$$\frac{\partial U_T}{\partial a} = 0 \quad (\text{Eq. 1.2})$$

Quer dizer condição de instabilidade onde

$$\sigma_R = \sqrt{\frac{2E\gamma_s}{\pi a_c}} \quad (\text{Eq. 1.3})$$

O que significa que para um comprimento de fissura $a < a_c$, não existe uma extensão da fissura ; portanto, para um comprimento $a \geq a_c$ a fissura se propaga de maneira catastrófica. Esta relação somente é válida para os materiais com comportamento elástico.

A extensão de IRWIN-OROWAN permite considerar um caso de material dúctil. Para esse caso deve-se considerar a deformação plástica em fundo de fissura.

De uma forma geral, as tensões em um ponto à frente da ponta da fissura (Figura 1.17) podem ser escritas, para o Modo I de fraturamento em duas dimensões, da forma que se segue:

$$\sigma_{ij} = \frac{K_I}{\sqrt{2\pi.r}} \cdot f_{ij}(\theta) \quad (\text{Eq. 1.4})$$

com i e j variando de 1 a 2 (Direções x,y).

sendo :

σ_{ij} = Tensões no ponto considerado.

K_I = Fator de Intensidade de Tensões, para o Modo I.

$\pi = 3,1415\dots$

r = Distância do ponto considerado a ponta da fissura

$f_{ij}(\theta)$ = função relativa à geometria e forma de carregamento do corpo

θ = Ângulo que define a posição do ponto considerado, relativamente a um sistema de referência posicionado na ponta da fissura.

O Fator de Intensidade de Tensões, K_I , pode ser definido como sendo o fator que descreve o campo de tensões à frente da ponta da fissura, ou seja, o fator que associa as tensões à frente da fissura, com a singularidade.

Enfim, quando o Fator de Intensidade de Tensões, K_I ultrapassa um determinado valor, a fissura propaga. Esse valor limite é conhecido como Tenacidade do Fraturamento do material, designado K_{IC} , uma propriedade mecânica do material (a tenacidade ao fraturamento, K_{IC} é medida em $\text{MPa.m}^{1/2}$).

Para uma fissura de extensão crítica, a_c , K_{IC} que é a medida em termos de fator de intensidade, da tensão de ruptura e pode ser escrito como a seguir :

$$K_{IC} = \sigma_R \sqrt{\pi \cdot a_c} \cdot Y \quad (\text{Eq. 1.5})$$

onde: Y é um parâmetro de forma e de carregamento (equivalente a $f_{ij}(\theta)$, Eq. 1.4)

σ_R é a tensão de ruptura

K_{IC} é o fator crítico da intensidade de tensão no modo I.

Evidentemente, tensões singulares são abstrações matemáticas. De fato, com o aumento dos níveis de tensão nas proximidades da ponta da fissura, o material nessas regiões passa a experimentar um processo evolutivo de dano (como a plastificação no caso dos metais e a microfissuração no caso dos concretos), processo que pode levar o corpo até a ruptura, pela formação e propagação de fissuras. A região à frente da fissura onde esses fenômenos inelásticos são verificados, é conhecida como Zona de Processos Inelásticos ou Zona de Processamento da Fissura.

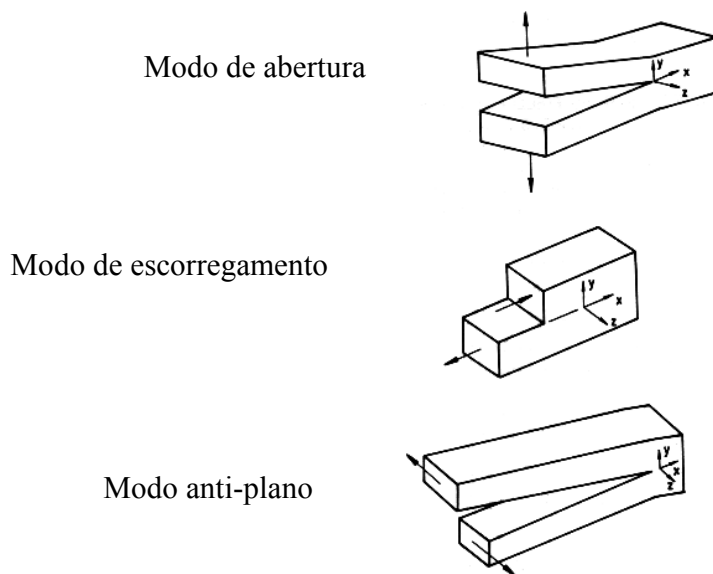


Figura 1.16 Modos de propagação de fissura.

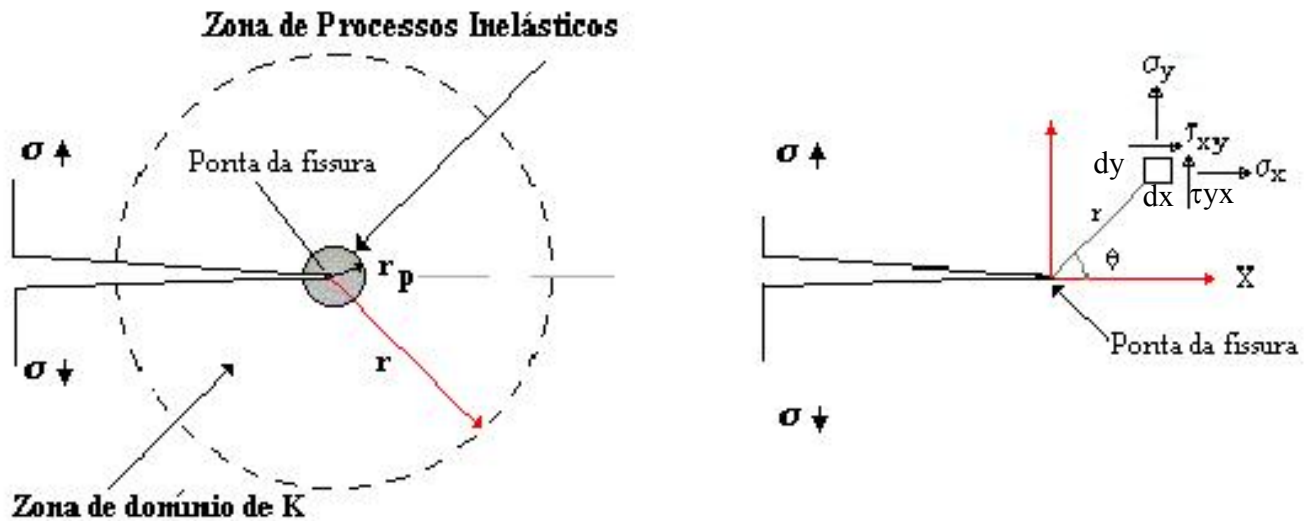


Figura 1.17 Zona de processos inelásticos e tensões em um ponto à frente da ponta da fissura [FERREIRA, 1998].

1.10.1. Mecanismos de danificação da argamassa

A heterogeneidade da estrutura da argamassa e as variações volumétricas que acontecem em decorrência do processo de cura, criam no material degradações iniciais (dano) de natureza irreversível.

De uma maneira geral o dano inicial, é constituído por defeitos na zona de interface, entre as fases e por vazios ou poros na argamassa [BITTENCOURT, 2000].

A existência, por um lado, de uma fase estável (os agregados) e, por outro lado, de uma fase evolutiva do ponto de vista constitutivo (a pasta sofre retração e expansão na fase de cura, quando a resistência ainda é fraca) conduz à caracterização de uma zona de fraca resistência ao redor dos grãos, chamada "zona de transição". Nesta zona, formam-se defeitos de aderência e vazios quase sempre associados à direção de moldagem (figura 1.18).

O processo de evolução do dano, ou danificação, difere de acordo com o tipo de sollicitação. Os principais mecanismos de danificação, comuns a todos os estados de sollicitação, podem ser caracterizados observando-se, na média escala, a resposta do material nos estados uniaxiais de tração e de compressão [PROENÇA, 2000].

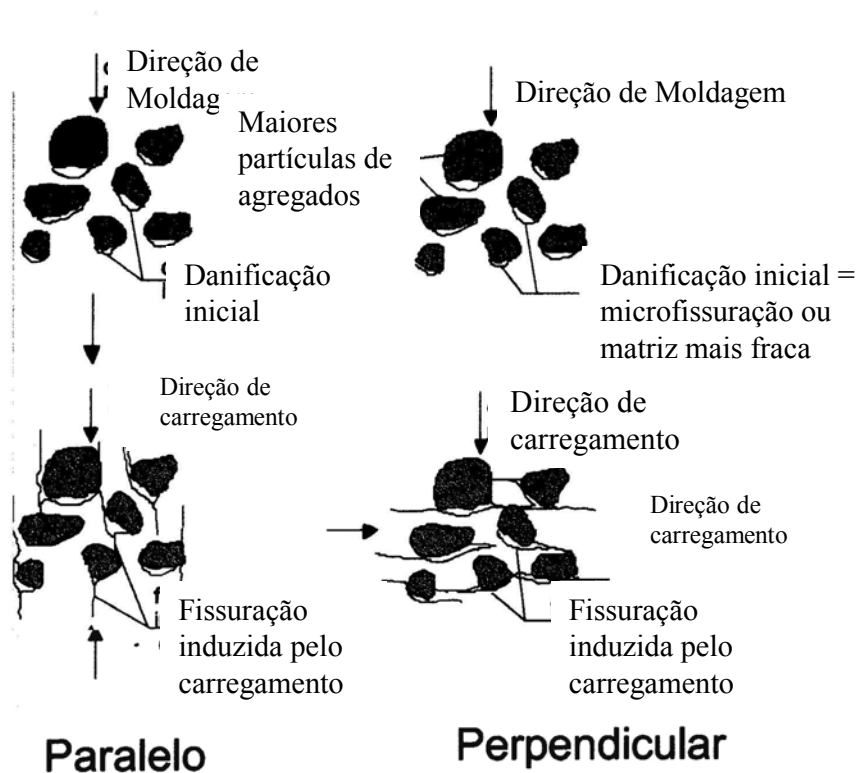


Figura 1.18. Zona de aderência com os de agregados [BITTENCOURT, 2000].

PARTE 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Introdução

O objetivo desta pesquisa é desenvolver uma nova argamassa para aplicação em revestimento em chapas metálicas, visando obter um material cerâmico com baixa densidade e baixo custo. A argamassa será obtida a partir de adições de matéria-primas alternativas (resíduos sólidos industriais) em substituição ao agregado fino convencionalmente utilizado.

A figura 2.1 ilustra o esquema geral utilizado na preparação da argamassa, obtenção e caracterização do material cerâmico. Este implica no método utilizado de caracterização das matérias-primas, elaboração da argamassa, moldagem, secagem, obtenção do material e caracterização do material cerâmico.

Inicialmente realizou-se um estudo de caracterização das matérias-primas, quanto a granulometria, composição química por microanálise de EDX e da morfologia.

Um estudo preliminar foi realizado, a fim de estabelecer a melhor condição de preparação de um traço e de elaboração da argamassa, para aplicação, conforme o interesse da empresa FRANKE DOUAT.

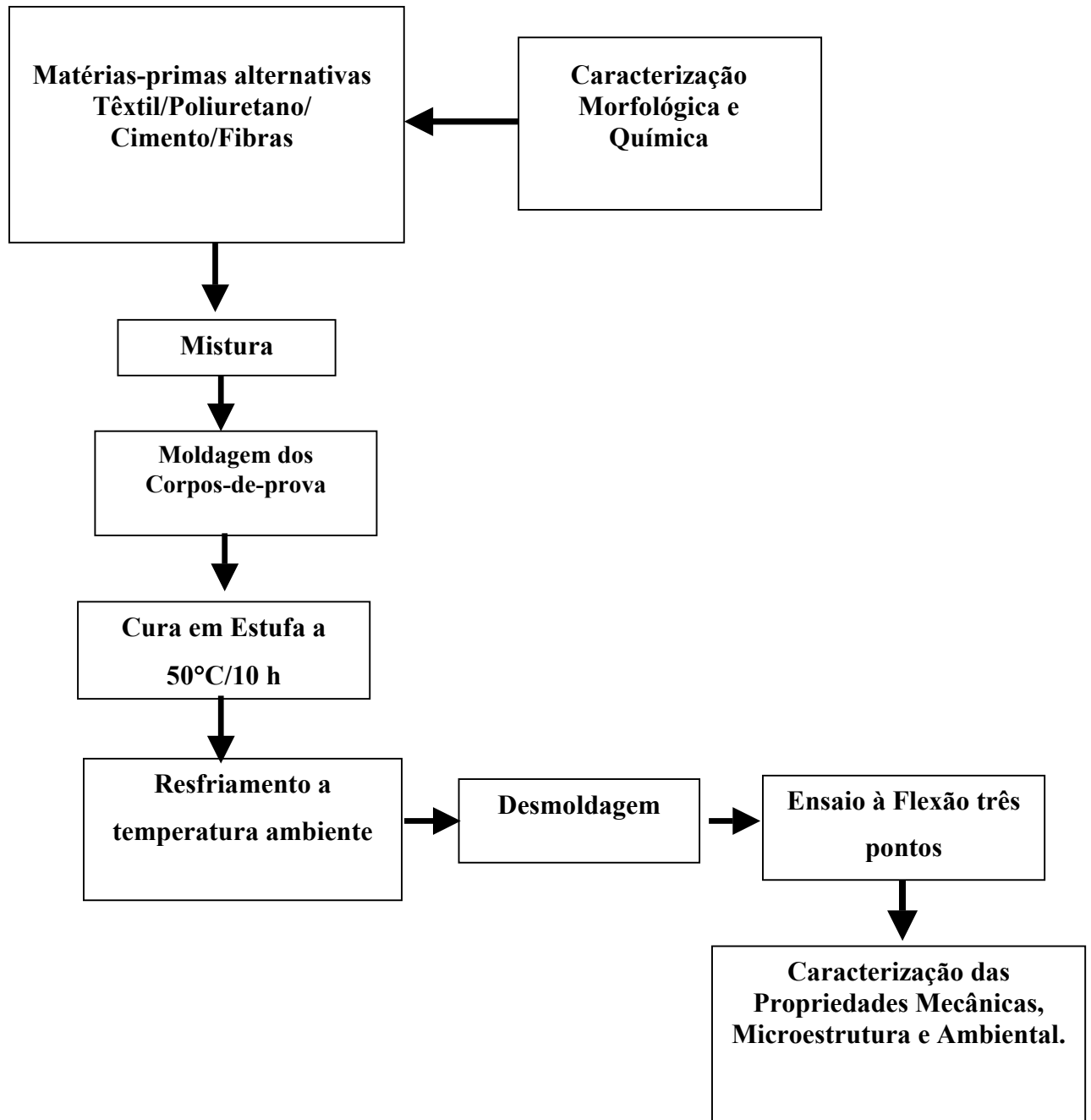


Figura 2.1. Esquema geral de elaboração e caracterização do material cerâmico.

2.1. Matérias-primas utilizadas

2.1.1. Areia (agregado fino)

A areia utilizada de origem de depósitos sedimentares, que se formam nos leitos dos rios. A densidade da areia foi determinada pelo método da compactação, onde se depositou a areia em uma proveta, compactou-se o mesmo com 20 golpes, e por fim fez-se a relação entre volume e massa, como resultado obteve-se o valor da ordem de $1,6 \text{ g/cm}^3$. A caracterização da granulometria do agregado fino foi realizada utilizando um analisador, marca Retsch AS200 digit e respeitando a norma NBR 7217.

Em uma simples análise visual desta areia, percebeu-se a existência de grande quantidade de cascalho, o que acaba aumentando o módulo de finura do material, como se pode observar no resultado da análise granulométrica mostrada na Tabela 2.1.

Tabela 2.1. Análise granulométrica da areia (agregado fino).

Número ABNT #	% Retida	% Retida
	INDIVIDUAL	ACUMULADA
20	31,72	31,72
30	18,29	50,01
40	20,11	70,12
50	12,13	82,25
70	10,83	93,09
100	3,54	96,62
140	2,43	99,05
200	0,38	99,43
270	0,20	99,64
Prato	0,36	100

Realizou-se um estudo de caracterização da morfologia da areia nova (agregado fino), utilizando a técnica de microscopia eletrônica de varredura, como resultado, constatou uma variação do tamanho e forma dos grânulos conforme mostrado na figura 2.2.

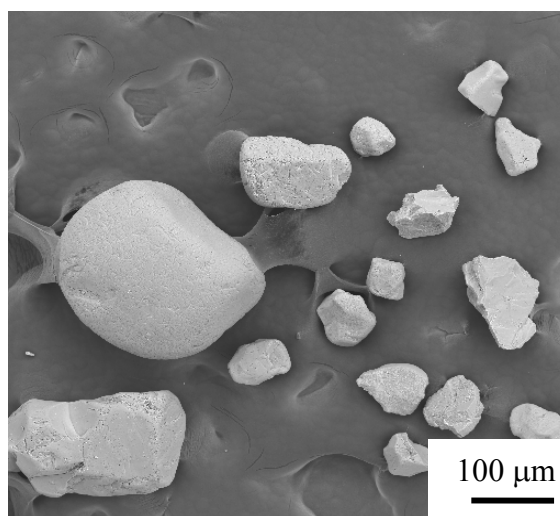


Figura 2.2. Morfologia mostrando a dispersão do tamanho e forma dos grânulos de areia.

2.1.2. Matéria-prima alternativa têxtil

A matéria-prima têxtil utilizada neste trabalho foi gentilmente cedida pela COMPANHIA FABRIL LEPPER, localizada em Joinville – SC.

O lodo ao sair do filtro prensa, passa por um secador, que trabalha à temperatura de 220°C, o material recuperado do secador foi denominado matéria-prima têxtil, essa é armazenada em um container, local onde foi coletada. A matéria-prima têxtil apresenta-se sob forma de aglomerados e possui cor cinza escuro. São geradas 30 toneladas por mês de matéria-prima têxtil.

Realizou-se um estudo utilizando a microanálise por EDX para verificar a composição química dos grânulos, os elementos encontrados foram Ca, S, Si, Al, Cr e Fe. A figura 2.3 mostra o espectro EDX ilustrando os picos dos respectivos elementos encontrados.

A presença de alumínio e enxofre é devido ao uso de sulfato de alumínio no processo de tratamento de efluentes. O silício provém da pasta de estamparia que possui em sua composição silicato. O ferro está presente em alguns corantes, porém em pequenas quantidades, mas utiliza-se sulfato ferroso na estação de tratamento de efluentes. O cálcio é justificado pelo uso da cal (carbonato de cálcio), que é adicionada ao lodo líquido antes de entrar no filtro prensa, com o objetivo de proporcionar consistência durante a prensagem.

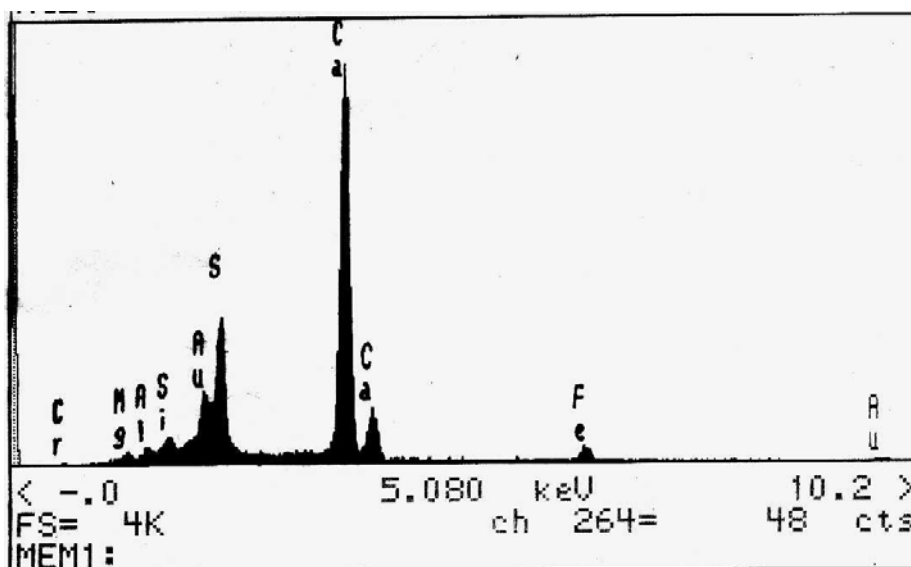


Figura 2.3. Espectro de EDX indicando os picos dos elementos presentes na matéria-prima têxtil.

A caracterização da granulometria da matéria-prima têxtil foi realizada utilizando o mesmo método já utilizado para o caso do agregado fino.

A classificação da granulometria foi realizada para identificação da finura dos grânulos. O resultado deste estudo está representado na tabela 2.2. Para preparação da argamassa utilizou-se a malha ABNT 4 # 4,8 mm.

A densidade da matéria-prima têxtil, foi determinada pelo método da compactação, obteve-se o valor da densidade para o compactado de $0,6 \text{ g/cm}^3$.

O estudo de caracterização da morfologia da matéria-prima têxtil foi realizado, utilizando a técnica de microscopia eletrônica de varredura, como resultado verificou-se uma variação da forma dos grânulos e uma dispersão do tamanho dos mesmos, conforme se pode observar na figura 2.4.

Os parâmetros ambientais da matéria-prima têxtil foram caracterizados pela LABORQUÍMICA (Laboratório de Análises Químicas Ltda, localizada em Porto Alegre – RS).

Este estudo teve como interesse verificar a composição química da matéria-prima têxtil, e viabilizar sua utilização como fonte alternativa, sem que haja problemas ao meio ambiente ou meio de utilização. Os resultados desta análise estão representados na Tabela 2.3.

Tabela 2.2. Características da granulometria da matéria-prima têxtil.

Número ABNT Mesh #	% RETIDA	
	INDIVIDUAL	ACUMULADA
20	50,5	50,5
30	10,8	61,3
40	10,4	71,7
50	8,0	79,7
70	9,2	88,9
100	3,9	92,8
140	3,0	95,9
200	1,9	97,7
270	1,2	99,2
Prato	0,8	100,0

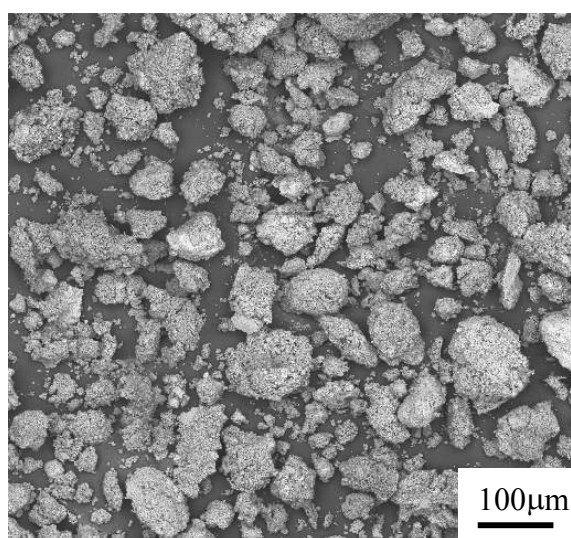


Figura 2.4. Morfologia dos grânulos da matéria-prima têxtil.

Tabela 2.3. Parâmetros da matéria-prima têxtil [LABORQUÍMICA, 1999].

Determinação	Unidades	Resultado
Umidade	%	32,5
pH (Solução a 5%)	x-x-x-x	9,0
Óleos e Graxas	%	31,0
Cianetos	% CN ⁻	N.D.
Sulfetos	ppm H ₂ S	28,0
Cinzas	%	70,0

Os resultados estão expressos em base seca, com exceção da umidade e do pH.

Como pode ser observada na análise fornecida pela LABORQUÍMICA, a matéria-prima têxtil apresenta sulfetos, porém em pequena quantidade. O teor de umidade (h) de 32,5%.

2.1.3. Poliuretano

A matéria-prima alternativa de poliuretano (PU) foi cordialmente doada pela empresa MULTRIBRAS, localizada em Joinville – SC.

O poliuretano foi coletado em sacos plásticos diretamente das sobras do processo de refrigeradores. Os sacos devidamente fechados foram armazenados em local coberto à temperatura ambiente.

O estudo de classificação da granulometria foi realizado usando o método já exposto anteriormente para identificar a finura dos grânulos. O resultado desta análise está representado na tabela 2.4. Para preparação da argamassa definiu-se como malha granulométrica do PU ABNT 6 # 3,36 mm.

A densidade do resíduo poliuretano foi determinada pelo método da compactação, sendo este da ordem de 0,043 g/cm³.

Tabela 2.4. Características da granulometria do resíduo poliuretano.

Número ABNT Mesh #	% RETIDA	
	INDIVIDUAL	ACUMULADA
20	72,47	72,47
30	12,19	84,66
40	9,31	93,97
50	1,46	95,43
70	2,30	97,72
100	0,90	98,62
140	0,62	99,24
200	0,48	99,72
270	0,14	99,86
Prato	0,14	100,00

2.1.4. Cimento

O cimento utilizado na confecção dos materiais neste trabalho de marca Itambe CPV – ARI – RS, para melhor conhecimento deste material realizou-se um estudo de caracterização da morfologia do cimento, o que colocou em evidência a heterogeneidade no tamanho e forma das partículas, constatando-se também, a presença de cinzas conforme mostrado na figura 2.5. Outra observação foi a existência de pozolanas, como se pode verificar a esfera na figura 2.6.

A técnica de microanálise por EDX foi utilizada para verificar a composição química, os elementos encontrados foram Si, Al, Mg, Fe e Ca. A figura 2.7 mostra o espectro EDX ilustrando os principais elementos encontrados na amostra.

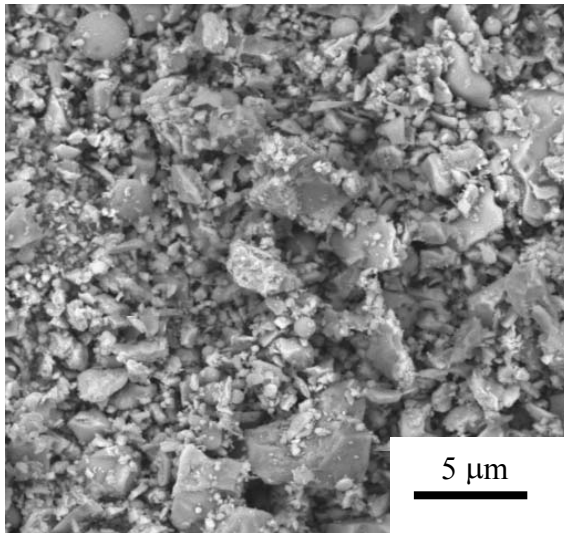


Figura 2.5. Micrografia do cimento mostrando a heterogeneidade do tamanho das partículas e a presença de cinzas, parte fina.

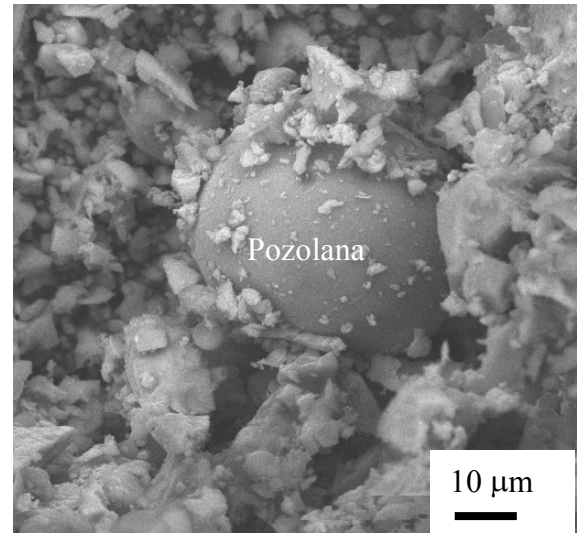


Figura 2.6. Micrografia apresentando a pozolana do cimento em forma de esfera.

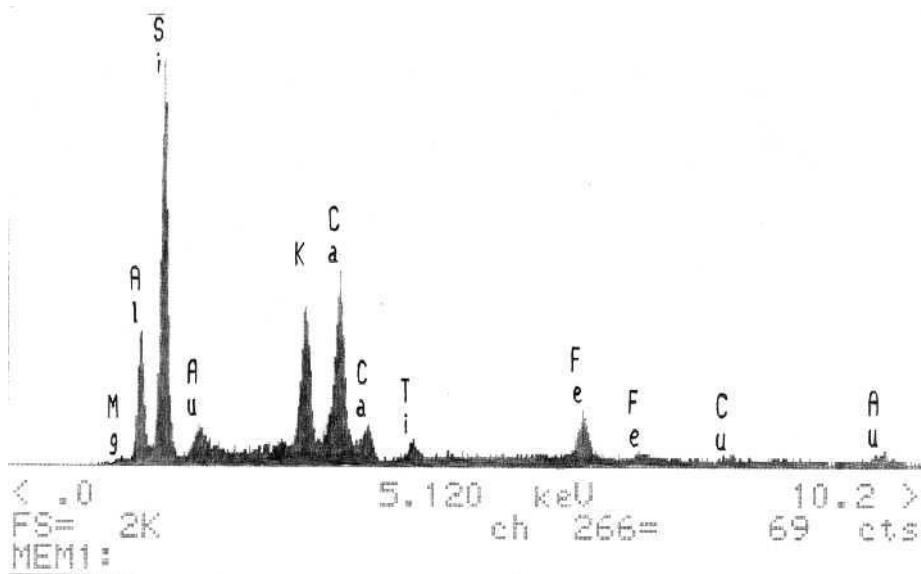


Figura 2.7. Espectro de EDX indicando os principais elementos químicos encontrados no cimento.

2.1.5. Fibra

A fibra de polipropileno utilizada neste estudo é proveniente da indústria ORPED, sendo que a mesma não é resíduo. O comprimento da fibra é de 40 mm.

O objetivo de sua aplicação foi melhorar as características de propriedades mecânicas do material, já que a fibra pode obstruir a propagação de microfissuras, retardando, portanto o início das fissuras.

Quando se adicionam fibras ao concreto, este deixa de ter o caráter marcadamente frágil. Isto ocorre pelo fato da fibra servir como ponte de transferência de tensões pelas fissuras, minimizando a concentração de tensões nas extremidades das mesmas. Com isto tem-se uma grande redução da velocidade de propagação das fissuras no concreto que passa a ter um comportamento pseudo-dúctil, ou seja, apresenta uma certa capacidade portante pós-fissuração [FIGUEIREDO, 2000].

Deve-se ressaltar que o nível de tensão que a fibra consegue transferir pelas fissuras depende de uma série de aspectos como o seu comprimento e o teor de fibras [MEHTA, 1994].

Foram utilizados 0,0076 litros de fibra na preparação da argamassa para obtenção de seis corpos-de-prova (150 x 100 x 30 mm). A figura 2.8 mostra as fibras utilizadas nas argamassas.



Figura 2.8. Fibras de polipropileno utilizadas nas argamassas.

2.1.6. Água

A água utilizada na produção da argamassa para os corpos-de-prova foi proveniente da rede de abastecimento local.

2.2. Preparação das composições unitárias em volume

No estudo preliminar foram preparadas amostras contendo areia / cimento / água / fibras, denominada de padrão, e outras amostras foram preparadas variando-se, as quantidades de matéria-prima têxtil, em substituição a areia, foram incorporadas na argamassa as quantidades de 5, 10, 20, 25, 30, 40, 50 e 60% em volume matéria-prima têxtil. As argamassas foram preparadas segundo a NBR 12821. O traço utilizado para elaboração da argamassa seguiu a relação: X (cimento)/ Y (areia)/ Z (água), traço utilizado na preparação da argamassa para revestimento das chapas na empresa, e que por sigilo industrial não deve ser indicado.

Para preparação da argamassa, realizou-se primeiramente uma mistura a seco, areia/matéria-prima têxtil/cimento/fibras dentro da betoneira, posteriormente incorporou-se água e efetuou-se a mistura por 3 min, onde observou uma boa plasticidade da massa cerâmica.

Para cada argamassa preparada, foram moldados 6 corpos-de-prova retangulares, de dimensões 150x100x30 mm. Os moldes foram devidamente preparados conforme as especificações da NBR 5738.

Cada corpo-de-prova foi moldado em 2 camadas de argamassa, sendo que a mesma não foi adensada, para seguir os padrões da argamassa preparada na indústria.

Após os corpos-de-prova terem sido devidamente moldados estes foram levados a estufa para realização da cura (desidratação), onde permaneceram por 10 horas à temperatura de 50°C. Os materiais retirados da estufa, após resfriados a temperatura ambiente (25°C), posteriormente desmoldados.

Observou-se para as amostras com traços a partir de 30% de matéria-prima têxtil, uma coloração mais escura nas bordas dos corpos-de-prova, indicando ainda a presença de água na amostra. A Tabela 2.5 mostra as quantidades de matérias-primas utilizadas na preparação dos diferentes traços.

Tabela 2.5. Traços utilizados na preparação das argamassas em volume.

ARGAMASSAS	CIMENTO (1)	AGREGADO FINO (1)	MATÉRIA- PRIMA TÊXTIL (1)	PU (1)	ÁGUA (1)	FIBRA (1)
Padrão	1,30	4,05	-	-	1,30	-
Padrão + fibra	1,30	4,05	-	-	1,30	0,0076
A	1,30	2,84	1,22	-	1,30	-
B	1,30	2,84	1,22	-	1,30	0,0076
C	1,30	1,62	2,43	-	1,70	-
D	1,30	1,62	2,43	-	1,70	0,0076
E	1,30	-	1,22	2,84	2,00	0,0076

A = 30% Matéria-prima têxtil

B = 30% Matéria-prima têxtil + Fibra

C = 60% Matéria-prima têxtil

D = 60% Matéria-prima têxtil + Fibra

E = 70% PU + 30% Matéria têxtil + Fibra

Não foi realizado o controle da umidade da areia e da matéria-prima têxtil para simular os mesmos procedimentos utilizados pela empresa, sendo que a empresa não controla a umidade da areia.

2.2.1. Elaboração da argamassa com matéria-prima têxtil / agregado de poliuretano / cimento

A composição unitária utilizada na produção da argamassa com o poliuretano apresentou a relação: 1,0 (cimento)/0,94 (matéria-prima têxtil)/1,56 (poliuretano)/0,624 (areia nova)/1,7 (água). Foram preparadas amostras com 20% e 30% em volume de matéria-prima têxtil, variando-se as quantidades de 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 60, 70 e 80% em volume de Poliuretano em substituição a areia. A elaboração da argamassa referente aos diferentes traços, havendo primeiramente uma mistura a seco, das matérias-primas e posterior incorporação da água e realização da mistura mecânica por 3 min, onde se pode observar uma boa plasticidade da massa cerâmica.

Após os corpos-de-prova terem sido devidamente moldados estes foram levados a estufa para realização da cura (desidratação), onde permaneceram por 10 horas à temperatura de 50°C. Posteriormente foram retirados da estufa e deixados resfriarem até à temperatura ambiente (25°C), para a realização da desmoldagem.

Os ensaios foram realizados sob amostras com 10 horas de cura em estufa, 7 dias de cura ao ambiente, por fim foi realizado um estudo complementar com amostras com 35 dias de cura ao ambiente.

A título de comparação com o material utilizado na empresa, foram elaboradas novas amostras, utilizando as composições unitárias de 30% em volume de matéria-prima têxtil / 70% em volume de poliuretano e 20% matéria-prima têxtil / 80% poliuretano. Este estudo teve como objetivo, comparar os valores da massa e das propriedades mecânicas dos materiais em relação ao material convencional utilizado pela empresa.

2.3. Caracterização

2.3.1 Caracterização física

A massa dos corpos-de-prova foi determinada pela equação:

$$M = P / g \quad (\text{Eq. 2.1})$$

Sendo:

M = massa do corpo-de-prova (g)

P = peso do corpo-de-prova (gf)

g = aceleração da gravidade (m/s²)

A perda de massa foi obtida pela equação:

$$pM = M_p - M_a \quad (\text{Eq. 2.2})$$

Sendo que:

pM = perda de massa (g)

M_p = massa do material padrão (g)

M_a = massa do material alternativo [contendo matéria-prima alternativa] (g)

A densidade dos corpos-de-prova foi determinada pela seguinte equação:

$$d = \frac{m}{v} \quad (\text{Eq. 2.3})$$

Sendo que:

d = densidade do corpo-de-prova (g/cm^3)

m = massa do corpo-de-prova (g)

v = volume do corpo-de-prova (cm^3)

2.3.2. Propriedades mecânicas

Os estudos das propriedades mecânicas para os diferentes materiais obtidos foram determinados em um equipamento de ensaio mecânico à flexão 3 pontos, fabricado pela indústria FRANKE DOUAT, sendo o espaçamento entre apoios $L = 120\text{mm}$.

O equipamento é constituído de um cilindro pneumático de diâmetro 30 mm e haste de diâmetro 16 mm, além de dois apoios com formato de cantoneira, conforme figura 2.9.

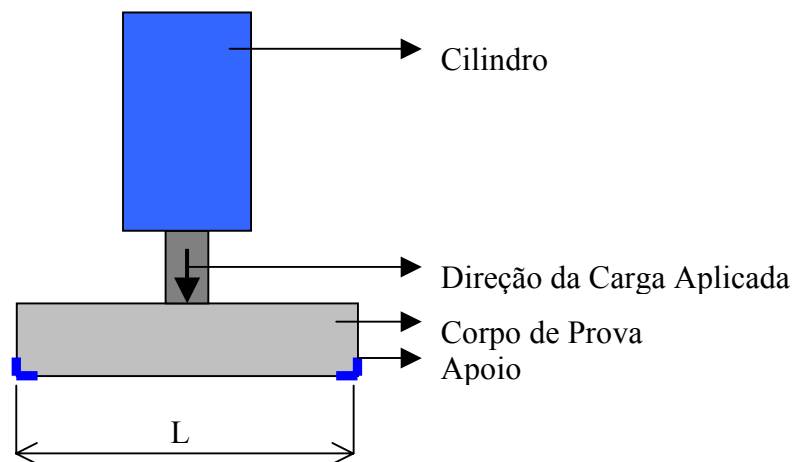


Figura 2.9. Equipamento utilizado para realização do ensaio à flexão 3 pontos.

O corpo-de-prova foi colocado sob dois apoios com um espaço entre apoios de 120 mm. A carga foi aplicada no centro geométrico do corpo-de-prova através de um cilindro de diâmetro 30 mm, sendo que a carga inicial aplicada foi de zero KN e aumentou gradativamente até a ruptura do corpo-de-prova, obtendo-se neste ponto o valor máximo da carga aplicada.

Para determinação da tensão de ruptura, utilizou-se o método da mecânica linear da fratura frágil, partindo da equação 2.4.

$$\sigma_{rup} = \frac{M \cdot c}{I} \quad (\text{Eq. 2.4})$$

Sendo: M = Momento Fletor no Ponto de Ruptura (kN.m)

c = Distância da linha neutra ao ponto mais solicitado (m)

I = Momento de Inércia (m⁴)

Tem-se que:

$$M = P \cdot L / 4 \quad (\text{Eq. 2.5})$$

$$c = h/2 \quad (\text{Eq. 2.6})$$

$$I = B \cdot H^3 / 12 \quad (\text{Eq. 2.7})$$

Portanto:

$$\sigma_{rup} = \frac{(P \cdot L / 4) \cdot H / 2}{(B \cdot H^3) / 12} \quad \sigma_{rup} = \frac{3 \cdot P \cdot L}{2 \cdot B \cdot H^2} \quad (\text{Eq. 2.8})$$

Sendo: P = Carga de Ruptura (KN)

L = Distância entre apoios (mm)

H = Altura do corpo-de-prova (mm)

B = Comprimento do corpo-de-prova (mm)

2.3.3. Caracterização microestrutural

A caracterização microestrutural de um material, de uma maneira geral é realizada sobre superfície de fratura dos fragmentos recuperados do ensaio mecânico, com ajuda da técnica de microscopia eletrônica de varredura. Essa técnica permite observar a microestrutura do material, identificando a formação do gel e a existência de cristais anidritos na microestrutura, microfissurações e defeitos.

O estudo de caracterização da microestrutura para os diferentes materiais foi realizado utilizando a técnica de microscopia eletrônica de varredura, microscópio marca

ZEISS modelo DSM 940A, o qual serviu de apoio para caracterização da morfologia das matérias-primas e das superfícies de fratura para os diferentes materiais obtidos.

2.3.4. Análise granulométrica

A análise granulométrica foi utilizada para determinar a distribuição do tamanho das partículas ou grânulos de um pó cerâmico em agregado fino ou graúdo.

A determinação da granulometria dos agregados seguiu as recomendações da norma NBR 7217, que prescreve o modo pelo qual deve ser feita a determinação da granulometria de agregados miúdos e graúdos ao preparo do concreto. Nesta norma, o resultado é expresso em porcentagem retida e retida acumulada em cada peneira. Além disto, determinou-se também a dimensão máxima característica e o módulo de finura do agregado. Por dimensão máxima característica entende-se a abertura nominal, em mm, da malha da peneira na qual o agregado apresenta uma porcentagem retida, acumulada igual ou imediatamente inferior a 5% em massa.

2.3.5. Determinação da umidade natural

A umidade natural foi determinada pelo método de secagem em estufa. As amostras in natura, previamente pesadas, são submetidas à secagem em estufa à temperatura de 105 °C (± 5 °C) até que seja constatada a constância do peso, situação na qual considera-se, que toda água livre presente na amostra original foi eliminada.

2.3.6. Ensaio ambientais

Os ensaios de classificação, lixiviação, solubilização foram realizados conforme as recomendações da ABNT. Estes ensaios foram realizados pela Laborquímica (Laboratório de Análises Química Ltda, situado em Porto Alegre – RS).

2.4. Lote piloto

Foi preparado um lote piloto em nível industrial. Preparou-se uma massa cerâmica utilizando esta composição, o volume de massa preparada, foi o suficiente para revestir 27 pias de aço inoxidável, estas passaram pelo processo de cura, 10 horas em estufa, após permaneceram 14 dias de cura ao meio ambiente livre. Posteriormente foi realizado o estudo de caracterização da microestrutura do material de revestimento.

PARTE 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Introdução

Este trabalho é o resultado de dois projetos de parceria com empresas da região de Joinville, onde os estudos foram direcionados ao desenvolvimento de um novo material cerâmico, para aplicação em revestimento de chapas metálicas. O objetivo do projeto foi elaborar um novo material, a partir de matérias-primas alternativas (resíduos sólidos industriais), com baixa densidade e baixo custo. Estes foram utilizados como matérias-primas alternativas em substituição ao agregado fino. Foi caracterizado o resíduo sólido originário da estação de tratamento de efluentes do processo têxtil, o qual apresentou-se sob forma de um pó granulado, denominado matéria-prima alternativa têxtil. Outra fonte alternativa foi o granulado de poliuretano (PU) resultante do processo industrial de geladeiras, denominada matéria alternativa de poliuretano.

Nesta parte do trabalho, estão representados os resultados do estudo preliminar, os de caracterização das propriedades mecânicas para as diferentes composições dos materiais elaborados. Os estudos de caracterização ambiental e por fim os resultados de caracterização da microestrutura, análise química por EDX, uma conclusão e perspectivas encorajadoras para os futuros trabalhos.

3.1. Estudo preliminar

3.1.1. Caracterização química

Realizou-se a caracterização química da matéria-prima alternativa têxtil pelo método de lixiviação e solubilização. Estes estudos foram realizados pelo Laboratório de Análises Químicas LABORQUÍMICA.

Os valores referentes aos resultados obtidos na análise do extrato do ensaio de lixiviação estão apresentados na Tabela 3.1, também se encontram na tabela os valores máximos permitidos pela norma NBR 10.004.

As tabelas 3.2 e 3.3 apresentam os resultados do ensaio de solubilização, sendo que os resultados foram comparados com os valores máximos permitidos pela Norma NBR 10.004.

Tabela 3.1. Ensaio de lixiviação da matéria-prima têxtil [LABORQUÍMICA, 1999].

Determinação	Unidades	Resultado	Máximo segundo NBR-10.004
Fluoretos	mg/l F ⁻	0,59	150,0
Arsênio	mg/l As	0,005	5,0
Bário	mg/l Ba	0,98	100,0
Chumbo	mg/l Pb	0,45	5,0
Cromo	mg/l Cr	N.D.	5,0
Cádmio	mg/l Cd	0,03	0,5
Mercúrio	mg/l Hg	0,0026	0,1
Prata	mg/l Ag	0,05	5,0
Selênio	mg/l Se	N.D.	1,0

N.D. = Não detectado.

**Tabela 3.2. Ensaio de solubilização da matéria-prima têxtil – Parte I
[LABORQUÍMICA, 1999].**

Determinação	Unidades	Resultado	Máximo segundo NBR-10.004
Fenóis	mg/l C ₆ H ₅ OH	N.D.	0,001
Surfactantes	mg/l ABS	0,32	0,2
Cianetos	mg/l CN ⁻	N.D.	0,1
Cloretos	mg/l Cl ⁻	51,0	250,0
Fluoretos	Mg/l F ⁻	0,22	1,5
Sulfatos	mg/l SO ₄ ⁻	170,0	400,0
Nitratos	mg/l NO ₃ ⁻	0,8	10,0
Dureza	mg/l CaCO ₃	1.778,0	500,0
Alumínio	Mg/l Al	2,93	0,2
Arsênio	mg/l As	N.D.	0,05
Bário	mg/l Ba	0,24	1,0
Chumbo	mg/l Pb	0,16	0,05

**Tabela 3.3. Ensaio de solubilização da matéria-prima têxtil – Parte II
[LABORQUÍMICA, 1999].**

Determinação	Unidades	Resultado	Máximo segundo NBR-10.004
Cobre	mg/l Cu	0,36	1,0
Cromo	mg/l Cr	N.D.	0,05
Cádmio	mg/l Cd	0,02	0,005
Ferro	mg/l Fe	0,23	0,3
Manganês	mg/l Mn	0,02	0,1
Mercurio	mg/l Hg	N.D.	0,001
Prata	mg/l Ag	0,03	0,05
Selênio	mg/l Se	N.D.	0,01
Sódio	mg/l Na	234,0	200,0
Zinco	mg/l Zn	N.D.	5,0

N.D. = Não detectado

Como pode ser observado nas Tabelas 3.1, 3.2 e 3.3, os valores representando os surfactantes, dureza, alumínio, chumbo, cádmio e sódio, encontram-se ligeiramente acima dos valores estabelecidos pela norma NBR 10.004, deste modo o resíduo não pode ser considerado como inerte, sendo classificado como classe II.

3.1.2. Elaboração da argamassa – características

Neste estudo preliminar elaborou-se uma argamassa denominada de padrão, constituída pela composição unitária: X (cimento)/ Y (areia)/ Z (água), sendo que esta composição unitária é segredo industrial da empresa FRANKE DOUAT, e é utilizada na elaboração de argamassa para revestimento das chapas. Foram elaboradas diferentes amostras realizando-se a substituição da areia pela matéria-prima alternativa têxtil de 5 % a 60% em volume. Os corpos-de-prova moldados foram pesados antes de serem colocados dentro de uma estufa à temperatura de 50°C, por um período de 10 horas. Após esses foram retirados, desmoldados e pesados. Os corpos-de-prova permaneceram 7 dias expostos numa bancada à temperatura ambiente, sendo novamente pesados.

A utilização da estufa à temperatura de 50 °C por um período de 10 horas teve como objetivo a desidratação do material, visto que o interesse neste estudo foi obter um material leve, ou seja, com baixa densidade, respeitando as exigências de propriedades mecânicas do material, impostas pela empresa FRANKE DOUAT.

Os ensaios mecânicos à flexão três pontos foram realizados com os corpos-de-prova com 7 dias de idade. Os estudos de perda de massa foram realizados com objetivo de determinar, para qual composição unitária, obtem-se melhor resultado de leveza do material. A perda de massa foi obtida através da diferença de massa do material padrão com o material contendo matéria-prima alternativa. Os resultados dos ensaios de caracterização física dos materiais estão representados na Tabela 3.4.

A porcentagem de matéria-prima têxtil (0%), conforme indicada na tabela 3.4, representa a amostra padrão.

Analisando os resultados obtidos, constata-se que a incorporação da matéria-prima têxtil, em substituição ao agregado fino (areia), melhora as características de leveza do material obtido, tanto úmido, como após 10 horas de secagem em estufa e com 7 dias de cura ambiente.

Tabela 3.4. Valores dos ensaios de caracterização física dos materiais obtidos com 0% a 60% de matéria-prima têxtil.

%Têxtil	0%	5%	10%	20%	25%	30%	40%	50%	60%
[Úmido]									
Massa (g)	1068,92	903,54	903,24	902,60	878,38	827,56	804,52	773,53	790,39
Perda de massa	0	165,38	165,68	166,32	190,54	241,36	264,40	295,39	278,53
Densidade g/cm ³	2,37	2,00	2,00	2,00	1,95	1,83	1,78	1,71	1,75
[10 horas]									
Massa (g)	911,89	871,65	861,37	867,00	839,73	785,76	766,72	732,05	763,41
Perda de massa	0	40,24	50,52	44,89	72,16	126,13	145,17	179,84	148,48
Densidade g/cm ³	2,02	1,93	1,91	1,92	1,86	1,74	1,70	1,62	1,69
[7 Dias]									
Massa (g)	904,11	850,92	843,73	846,92	824,05	769,18	753,02	711,67	730,17
Perda de massa	0	53,19	60,38	57,19	80,06	134,93	151,09	192,44	173,94
Densidade g/cm ³	2,00	1,89	1,87	1,88	1,83	1,70	1,67	1,58	1,62

A utilização da estufa à temperatura de 50 °C por um período de 10 horas teve como objetivo a desidratação do material, visto que o interesse neste estudo foi obter um material leve, ou seja, com baixa densidade, respeitando as exigências de propriedades mecânicas do material, impostas pela empresa FRANKE DOUAT.

A leveza da argamassa contendo material alternativo pode ser justificada pela densidade da matéria-prima têxtil ser da ordem de 0,6 g/cm³ e a densidade da areia ser da ordem de 1,6 g/cm³.

O material ao passar pela estufa no período de 10 horas libera grande quantidade de água, e após ser retirado da estufa vai liberando com o tempo a água ainda retida dentro da sua estrutura, conforme pode ser observado na tabela 3.4. Deve-se lembrar que não foi

realizado o controle da umidade da areia e da matéria-prima têxtil para simular as condições do processo utilizado pela empresa.

Os valores encontrados nas propriedades mecânicas mostram uma diminuição da tensão de ruptura, com o aumento da concentração em volume da matéria-prima têxtil na argamassa, isto deve ter ocorrido possivelmente pela retenção de água em regiões preferenciais dentro do material, ocorrido pela formação de aglomeração dos grânulos da matéria-prima têxtil dentro da microestrutura do material, assim, fragilizando o material. Os valores obtidos do ensaio mecânico estão representados na Tabela 3.5.

Analisando a Tabela 3.4 relativa aos valores da massa dos corpos-de-prova, observou-se que aumentando a quantidade em volume da matéria-prima têxtil nas amostras, uma considerável diferença de massa dos corpos-de-prova, depois de retirados da estufa e com 7 dias de cura ambiente.

A tabela 3.5 mostra os valores do ensaio mecânico obtidos dos corpos-de-prova com 7 dias de cura ambiente, onde se observou uma clara diminuição das propriedades mecânicas, para os materiais contendo a matéria-prima alternativa têxtil, isto pode ser explicado, pela quantidade de água ainda retida no material e pela presença de aglomerados da matéria-prima têxtil, que levou a formação de maiores defeitos na microestrutura do material.

Tabela 3.5. Valores obtidos do ensaio à flexão três pontos para os materiais obtidos com 0% a 60% de matéria-prima têxtil com 7 dias.

% Têxtil	0,0%	5,0%	10,0%	20,0%	25,0%	30%	40%	50%	60%
Tensão de Ruptura [MPa]	2,1	1,27	1,62	1,76	1,57	1,37	1,14	0,90	0,91
Desvio Padrão	± 0,17	± 0,14	± 0,11	± 0,11	± 0,10	± 0,09	± 0,20	± 0,06	± 0,06

Com o interesse de melhorar as propriedades do material, incorporou-se na preparação da argamassa 0,0076 litros de fibra de polipropileno, para a relação de 1,3 de cimento seco. Os corpos-de-prova elaborados nas mesmas condições citadas anteriormente mais fibra foram pesados conforme descrito anteriormente. Os resultados do estudo da caracterização física dos corpos-de-prova contendo fibra de polipropileno estão representados na Tabela 3.6.

Tabela 3.6. Valores dos ensaios de caracterização física para os materiais elaborados com as composições de matéria-prima têxtil mais fibra.

%Têxtil	0%	5%	10%	20%	25%	30%	40%	50%	60%
[Úmido]									
Massa (g)	937,45	916,43	905,37	867,71	868,94	848,50	870,53	813,49	788,64
Perda de massa	0	21,02	32,08	69,74	68,51	88,95	66,92	123,96	148,81
Densidade g/cm ³	2,08	2,03	2,01	1,92	1,93	1,88	1,93	1,80	1,75
[10 horas]									
Massa (g)	896,95	864,13	865,63	792,27	813,27	804,54	794,64	760,48	759,61
Perda de massa	0	32,82	31,32	104,68	83,68	92,41	102,31	136,47	137,34
Densidade g/cm ³	1,99	1,92	1,92	1,76	1,80	1,78	1,76	1,68	1,68
[7 Dias]									
Massa (g)	881,86	846,87	842,62	777,28	781,42	799,35	778,15	731,92	729,39
Perda de massa	0	34,99	39,24	104,58	100,44	82,51	103,71	149,94	152,47
Densidade g/cm ³	1,95	1,88	1,87	1,72	1,73	1,77	1,72	1,62	1,62

Comparando os valores da massa obtidos para o material sem a fibra e o material contendo fibra, constatou-se um leve aumento da massa dos corpos-de-prova contendo fibra de uma maneira geral. Isto pode ser justificado pela fibra adsorver certa quantidade de água.

Os valores obtidos do ensaio mecânico, referente ao material contendo fibra, estão representados na Tabela 3.7 e na Figura 3.1, sendo a representação na figura 3.1, um comparativo entre os materiais obtidos sem fibras com os obtidos com fibras.

Com a incorporação da fibra, observou-se uma melhora das propriedades mecânicas para os materiais, caso já observado por outros autores [NASCIMENTO et al 1997] e [DAFICO et al 1997].

Tabela 3.7. Valores do ensaio à flexão três pontos para os materiais obtidos com 0% a 60% de matéria-prima têxtil com fibra com 7 dias de cura ambiente.

% Têxtil	0,0%	5,0%	10,0%	20,0%	25,0%	30%	40%	50%	60%
Tensão de Ruptura [MPa]	1,80	1,81	1,76	1,49	1,40	1,83	1,29	1,21	1,29
Desvio Padrão	± 0,12	± 0,14	± 0,11	± 0,10	± 0,12	± 0,12	± 0,09	± 0,11	± 0,11

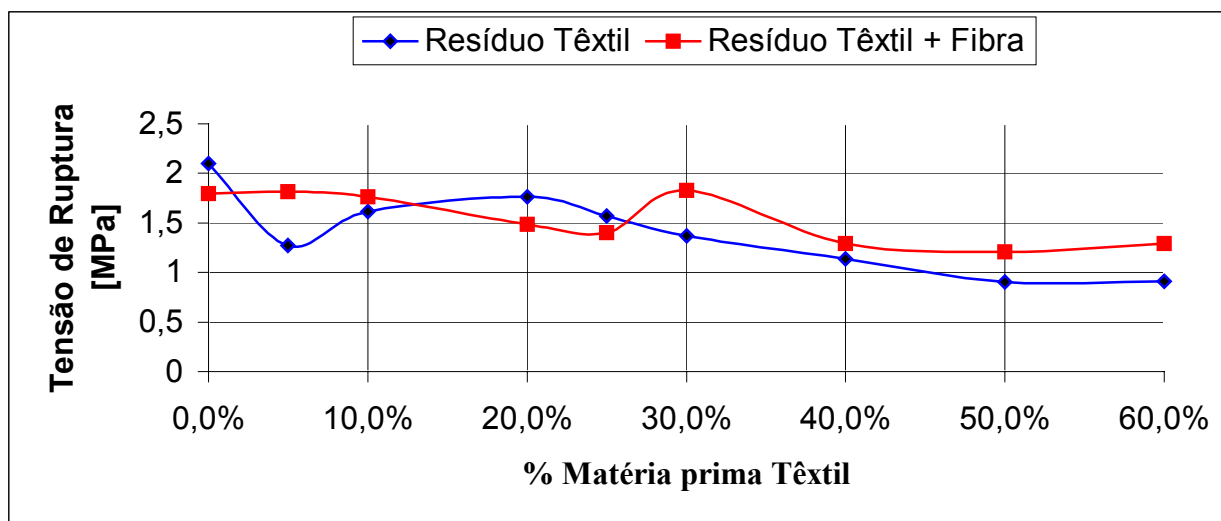


Figura 3.1. Representando valores da tensão de ruptura em relação à % em volume matéria-prima têxtil, com 7 dias de cura ambiente.

Se compararmos os resultados da Tabela 3.5 e 3.7 observa-se uma melhora significativa das propriedades mecânicas para o material contendo fibra, onde se constata o melhor resultado para o material contendo 30% de matéria-prima têxtil/fibra.

Visto o melhor resultado de propriedades mecânicas e de leveza, ter ocorrido para os materiais contendo 30% e 60% em volume de matéria-prima têxtil, optou-se por um estudo complementar, utilizando estas duas composições, para verificar o comportamento das propriedades mecânicas e de leveza dos materiais, em função do tempo de cura em estufa e ambiente. Foram preparadas argamassas contendo 30% e 60% de matéria-prima têxtil em volume, sendo que na preparação de ambas argamassas utilizou-se 0,0076 litros de fibra de polipropileno, para moldagem de 6 corpos-de-prova.

Os valores da massa e densidade, como também do ensaio mecânico obtido para os diferentes materiais estão representados na Tabela 3.8 e Tabela 3.9 respectivamente.

Tabela 3.8. Valores dos ensaios de caracterização física para os materiais obtidos com 30% e 60% de matéria-prima têxtil em função do tempo de 10 horas a 7 dias.

Período de Cura	Úmido	10h	1	2	3	4	5	6	7
Massa (g) dos CDP 30% Têxtil/Fibra	966,46	753,47	751,72	751,60	749,95	746,89	745,84	731,60	730,38
Densidade (g/cm³)	2,14	1,67	1,67	1,67	1,66	1,65	1,65	1,62	1,62
Massa (g) dos CDP 60% Têxtil/Fibra	927,20	754,74	750,07	735,13	718,73	716,85	713,60	709,31	707,39
Densidade (g/cm³)	2,06	1,67	1,66	1,63	1,59	1,59	1,58	1,57	1,57

Tabela 3.9. Valores do ensaio à flexão três pontos para os materiais com 30% e 60% de matéria-prima têxtil em relação ao tempo de cura 10 horas a 7 dias

% Têxtil	Dias de Cura	10h	1	2	3	4	5	6	7
30%	Tensão de Ruptura [MPa]	0,98	1,77	1,57	1,54	1,96	1,98	2,01	1,96
	Desvio Padrão	± 0,13	± 0,11	± 0,10	± 0,10	± 0,16	± 0,16	± 0,17	± 0,19
60%	Tensão de Ruptura [MPa]	0,59	1,54	1,37	1,14	1,60	1,73	1,60	1,29
	Desvio Padrão	± 0,04	± 0,11	± 0,09	± 0,09	± 0,11	± 0,13	± 0,11	± 0,11

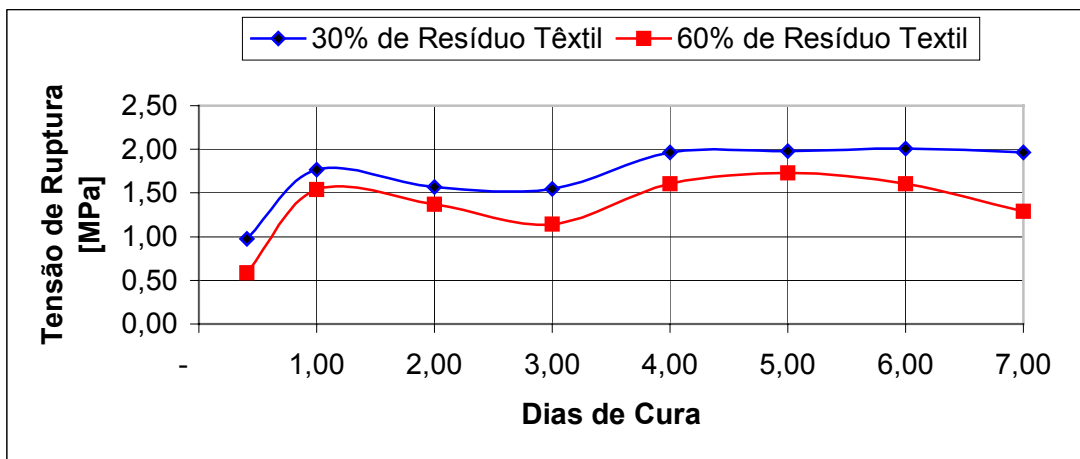


Figura 3.2. Representando os valores da tensão de ruptura para os materiais com 30% e 60% de matéria-prima têxtil em relação ao tempo de cura.

Avaliando os resultados obtidos, constatou-se uma maior dispersão de desvio padrão para os valores obtidos do material contendo 60% em volume de matéria-prima têxtil; isto pode ser explicado pela presença de um maior número de defeitos presente no material (porosidade, aglomeração de matéria-prima têxtil, presença de microfissuras).

3.1.3. Adição do poliuretano na argamassa

Os resultados obtidos do estudo referente ao material com 30% e 60%, colocou em evidência as melhores propriedades mecânicas para o material contendo 30% em volume da matéria-prima têxtil no material, obtendo um valor para a tensão de ruptura da ordem de 2 MPa; após 4 dias de cura, valor que permaneceu praticamente estável até aos 7 dias de cura (Figura 3.2), valor bem superior ao exigido pela empresa.

Devido à boa performance fornecida pelo material obtido com 30% em volume de matéria-prima têxtil, estabeleceu-se esta concentração fixa, para continuidade dos estudos. Sendo o interesse do projeto obter um material de baixa densidade (leve), utilizou-se outra matéria-prima alternativa, denominada pó de poliuretano, também em substituição ao agregado fino (areia), o interesse aqui, foi melhorar ainda mais as características de leveza do material de revestimento, procurando manter as características de propriedades mecânicas do material.

Na continuidade dos trabalhos, utilizou-se para preparação de novas amostras a quantidade de 30% em volume de matéria-prima têxtil valor fixo para todas as amostras, e

incorporou-se na preparação da argamassa 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 60 e 70% em volume de poliuretano, sendo que para o material com 70% de poliuretano, não se utilizou mais a areia nova. Foi também preparada uma mistura com 20% de matéria-prima têxtil e 80% de poliuretano a título comparativo.

A tabela 3.10 apresenta os resultados de propriedades mecânicas dos materiais contendo 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 60 e 70% de poliuretano e 30% de matéria-prima têxtil, além do material contendo 80% de poliuretano e 20% de matéria-prima têxtil ambos com 7 dias de cura ambiente.

Tabela 3.10. Valores obtidos do ensaio à flexão três pontos para os materiais com 30% matéria-prima têxtil e com 0% a 80% de poliuretano, com 7 dias de cura.

% Poliuretano	30% de matéria-prima têxtil										20% têxtil
	0%	5%	10%	15%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%
Tensão de Ruptura [MPa]	1,77	1,57	1,31	1,11	0,98	1,2	1,32	0,88	1,11	0,78	0,72
Desvio Padrão	± 0,11	± 0,10	± 0,10	± 0,08	± 0,06	± 0,09	± 0,08	± 0,06	± 0,07	± 0,08	± 0,06

Na figura 3.3 estão representados os valores das propriedades mecânicas para os materiais obtidos com 30% de matéria-prima têxtil, em relação a quantidade de 5% a 80% em volume de poliuretano, presente no material com 7 dias de cura.

Determinou-se também a massa, perda de massa e a densidade para os diferentes materiais obtidos com 0, 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 60, 70 a 80% em volume de poliuretano (com 10 horas de estufa e 7 dias de cura ambiente), estes valores estão ilustrados na Tabela 3.11. A Figura 3.4. representa graficamente esta diferença de massa, com o aumento da quantidade em volume de poliuretano no material, onde se constata claramente, para o material com 80% de poliuretano a menor massa. Sendo que para o caso do material com 80 % em volume de Poliuretano, utilizou-se somente 20% em volume de matéria-prima têxtil.

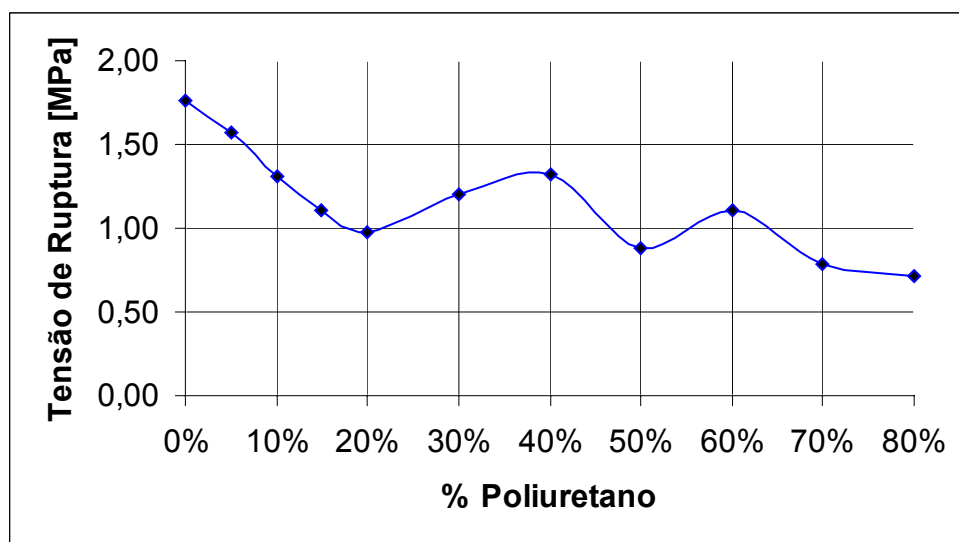


Figura 3.3. Representando os valores da tensão de ruptura para os materiais com 30% de matéria-prima têxtil em relação % de poliuretano no material, teste com 7 dias de cura.

Tabela 3.11. Valores dos ensaios de caracterização física para os materiais com 30% de matéria-prima têxtil para as composições de 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 60, 70 a 80% de poliuretano no material, teste com 7 dias de cura ambiente.

CDP	0%	5%	10%	15%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%
Massa (g)	834,22	789,62	793,68	756,72	746,45	765,16	723,49	654,42	601,95	503,94	482,24
Perda de massa (g)	0	44,6	40,54	77,5	87,77	69,06	110,73	179,80	232,27	330,28	351,98
Densidade (g/cm³)	1,85	1,75	1,76	1,68	1,65	1,70	1,60	1,45	1,33	1,11	1,07

Após avaliação dos resultados das propriedades mecânicas, da perda de massa e densidade para os materiais obtidos com relação de 30% em volume de matéria-prima têxtil e com 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 60, 70 a 80% em volume de poliuretano, constatou-se para o material contendo 70% em volume de poliuretano uma tensão de ruptura da ordem de 0,78 MPa, e para o material com 20% de matéria-prima têxtil e 80% de poliuretano uma tensão de ruptura da ordem de 0,72 MPa, valores mínimos de propriedades mecânicas aceitáveis pela empresa.

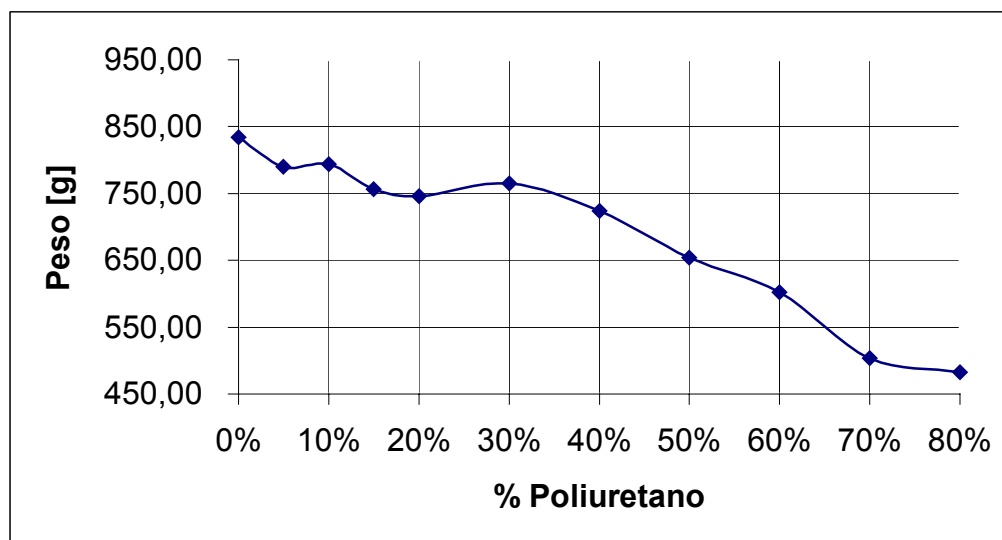


Figura 3.4. Representação gráfica dos valores da massa para os materiais com 30% de matéria-prima têxtil em relação à % em volume de poliuretano no material com 7 dias de cura ambiente.

Os resultados obtidos do estudo comparativo dos materiais com 70 e 80% de poliuretano e do material utilizado pela empresa FRANKE DOUAT da massa e das propriedades mecânicas foram referentes aos materiais obtidos com 10 horas de cura em estufa e de 1 a 7 dias de cura ao ambiente. Os valores referentes à massa, perda de massa e densidade estão ilustrados na tabela 3.12, sendo que a perda de massa foi obtida a partir da diferença da massa do material utilizado pela empresa com a massa dos materiais contendo 70 e 80% de poliuretano. A figura 3.5 representa graficamente estes valores, relacionado com os valores do material convencional utilizado na empresa. O resultado do estudo das propriedades mecânicas do material utilizado pela empresa está exposto na tabela 3.13 e ilustrado na figura 3.6.

Observa-se claramente no gráfico da figura 3.5, que para os materiais contendo as matérias-primas alternativas, a massa dos corpos-de-prova cai quase que linearmente em função do tempo de cura, por outro lado para o material convencional utilizado na empresa, observa-se que após 2 dias de cura, praticamente não existe diferença nos resultados da massa dos corpos-de-prova.

Tabela 3.12. Valores dos ensaios de caracterização física para os materiais com 70% e 80% em volume de poliuretano, comparados com os valores do material convencionalmente utilizado pela empresa.

CDP \ Dias de Cura		0,42	1	2	3	4	5	6	7
Franke-Douat	Massa (g)	616,30	591,31	595,48	594,64	593,81	594,64	599,64	593,81
	Densidade (g/cm ³)	1,36	1,31	1,32	1,32	1,31	1,32	1,33	1,31
70% PU	Massa (g)	534,18	521,93	505,11	491,50	483,47	493,96	469,52	462,86
	Perda de Massa (g)	82,12	69,38	90,37	103,14	110,34	100,68	130,12	130,95
	Densidade (g/cm ³)	1,18	1,15	1,12	1,09	1,07	1,09	1,04	1,02
80% PU	Massa (g)	529,31	518,15	502,06	506,31	498,77	477,58	470,47	465,62
	Perda de Massa (g)	86,99	73,16	93,42	88,33	95,04	117,06	129,17	128,19
	Densidade (g/cm ³)	1,17	1,15	1,11	1,12	1,10	1,06	1,04	1,03

Os resultados representados na Tabela 3.12 e na Figura 3.5 mostram que os materiais com 70% e 80% em volume de poliuretano, apresentaram menor massa, se comparado com o material convencional utilizado pela Franke-Douat. Porém, se comparar os valores da massa entre os dois materiais contendo poliuretano (70% e 80% em volume), constatou-se que, não existe uma diferença significativa dos valores obtidos da massa, são bastante próximos em função do tempo. Portanto o valor da tensão de ruptura obtido pelo material com 70% de poliuretano com 7 dias de cura, apresentou-se ligeiramente superior ao obtido pelo material convencional utilizado na empresa.

Outra observação foi para o valor da massa significativa para o material com 70% de poliuretano em função do tempo de cura, valores bem inferiores ao do material convencional utilizado na empresa.

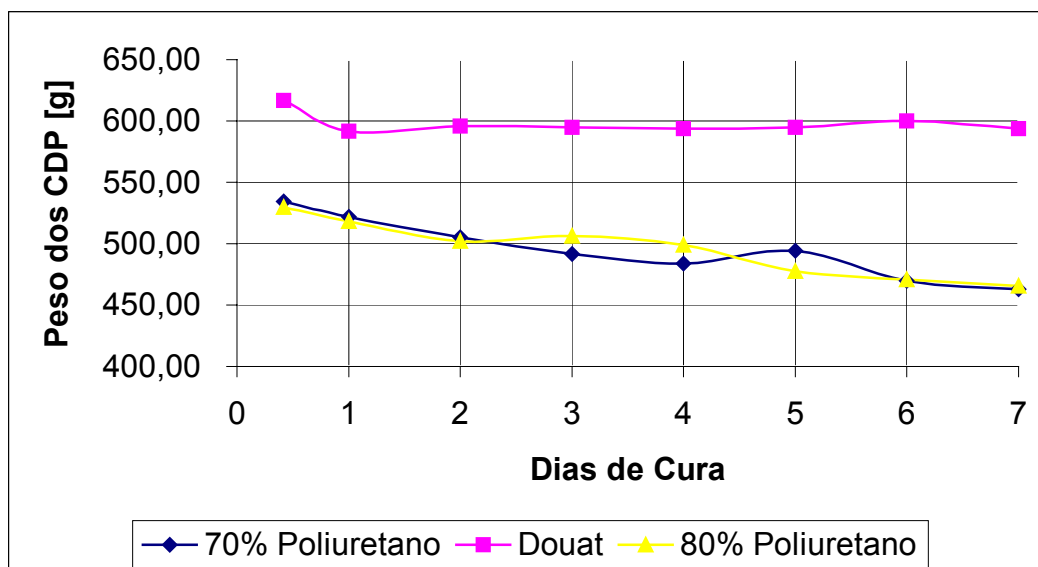


Figura 3.5. Representando a massa dos corpos-de-prova em relação ao tempo de cura para os diferentes materiais.

Analisando a tabela 3.13 e a figura 3.6 do material utilizado convencionalmente pela empresa com 7 dias de cura ambiente, pode-se perceber que após 5 dias de cura ambiente o valor da tensão de ruptura permaneceu constante, sendo da ordem de 1,28 MPa.

Tabela 3.13 Valores obtidos do ensaio à flexão três pontos para o material utilizado convencionalmente pela empresa, com 7 dias de cura.

Dias de Cura	10h	1	2	3	4	5	6	7
Tensão de Ruptura [MPa]	0,59	0,76	0,90	1,24	1,24	1,28	1,28	1,28
Desvio Padrão	± 0,07	± 0,08	± 0,06	± 0,09	± 0,09	± 0,08	± 0,08	± 0,08

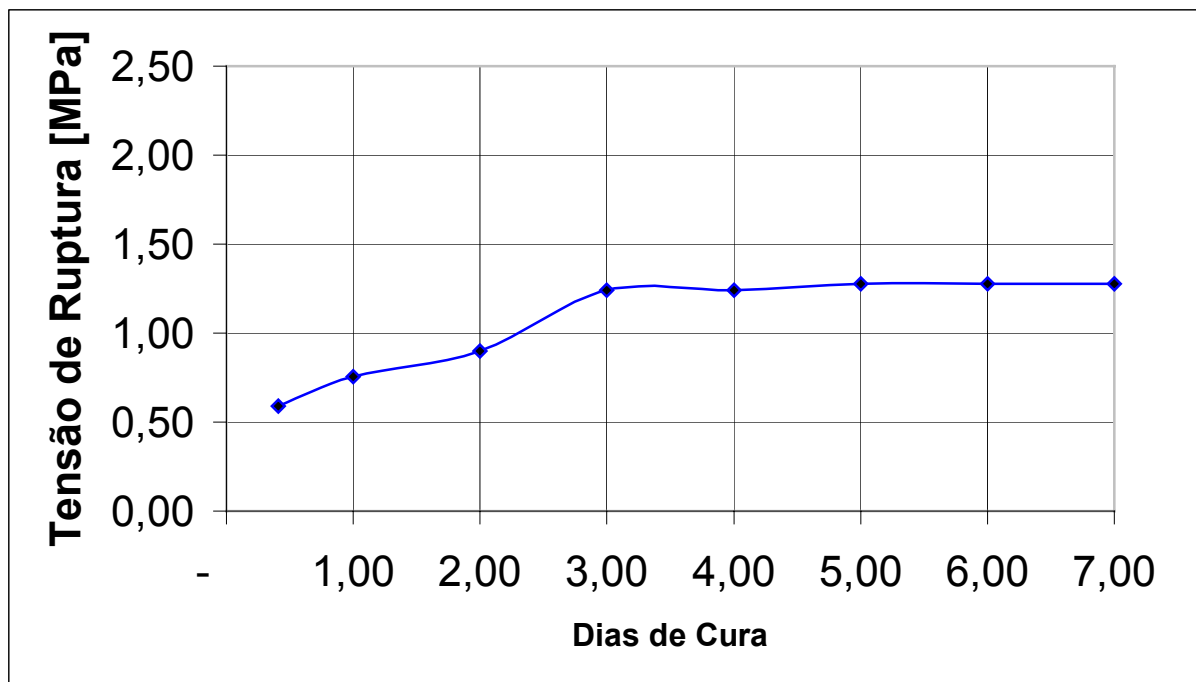


Figura 3.6. Representando os valores da tensão de ruptura para o material convencionalmente utilizado pela empresa, teste com 7 dias de cura.

Após avaliação dos resultados das propriedades mecânicas e da massa, comparativamente entre os materiais com 70%, 80% de poliuretano em relação ao material convencional utilizado na empresa, definiu-se como material padrão para continuidade dos estudos o material com a composição de 30% de matéria-prima têxtil e 70% de poliuretano, visto os valores de propriedades mecânicas e da massa, serem valores positivos.

Conforme estabelecido como material otimizado, para a composição de 30% de matéria-prima têxtil / 70% de poliuretano, novas amostras foram elaboradas seguindo o mesmo protocolo de preparação e de cura dos materiais. O interesse aqui foi verificar os valores de propriedades mecânicas e da massa em função do tempo, assim foram preparadas seis amostras, as quais após serem retiradas da estufa, permaneceram por 35 dias ao ar livre para realização da cura.

A seguir realizou-se o ensaio mecânico à flexão 3 pontos, para determinação das propriedades mecânicas (tensão de ruptura), também se determinou a massa em função do tempo. Os resultados obtidos deste estudo estão representados na tabela 3.14.

Tabela 3.14. Valores dos ensaios de caracterização físico-mecânicas para os materiais com a composição de 30% de matéria-prima têxtil / 70% de poliuretano e para o material convencional da empresa, com 35 dias de cura ambiente.

Material	Franke-Douat	Novo Material (30% têxtil / 70% PU)
Tensão de Ruptura Média [MPa]	1,28	1,06
Desvio Padrão [MPa]	± 0,08	± 0,09
Massa (g)	563,82	430,94
Perda de Massa (g)	0	132,88
Densidade (g/cm³)	1,25	0,95

Se compararmos os valores das propriedades mecânicas obtidas na tabela 3.10, referente aos materiais com 7 dias de cura, com os valores da tabela 3.14, se observa claramente um aumento das propriedades mecânicas para o material com a composição de 30% matéria-prima têxtil / 70% de poliuretano, passando de 0,78 MPa ± 0,08 para 1,06 MPa ± 0,09 para o material com 35 dias de cura, ocorrendo um aumento da tensão de ruptura da ordem de 26%. Resultado significativo, pois se encontra bem acima do valor exigido pela empresa. Comparando-se os valores da massa apresentados na tabela 3.14 referente ao material convencional utilizado pela empresa e o novo material; ambos com 35 dias de cura ambiente observa-se claramente um ganho de leveza na ordem de 24 %.

3.2. Caracterização microestrutural e microanálise por EDX

3.2.1. Caracterização microestrutural e análise química por EDX para o material padrão e para os materiais com composição de 30% à 60% de matéria-prima têxtil

O material recuperado dos ensaios mecânicos foi submetido ao estudo de caracterização da microestrutura. Foram selecionados fragmentos do material fraturado, estes foram secos em estufa por 24h à temperatura de 80°C. Depois de resfriados à

temperatura ambiente (25°C), foram metalizados, para então, realização da caracterização microestrutural.

Para o material denominado padrão (areia/cimento/água/fibra) constatou-se a formação do gel na argamassa, a presença de microfissuras na interface gel/agregado fino, possivelmente ocorrido durante a desidratação e secagem do material (figura 3.7a).

O resultado do estudo de microanálise por EDX sobre o material padrão permitiu constatar a presença dos elementos seguintes: Al, Si, K, Au, Ca e Fe, conforme mostrado pelos espectros ilustrados na figura 3.7b. A presença do elemento ouro (Au) é devido ao procedimento de preparação das superfícies das amostras recobertas por uma camada de material condutor de elétrons. Para evitar o efeito carregamento, que impedem imagens satisfatórias no microscópio eletrônico da varredura.

A figura 3.8a mostra claramente a microestrutura de fratura de um grânulo formado pela matéria-prima têxtil, onde se constata a presença de finos cristais anidritos dentro do grânulo, cristais que iniciaram sua formação, possivelmente pela capacidade de armazenagem de água dentro de sua estrutura, em razão da matéria-prima têxtil ser basicamente formada por carbonato de cálcio, conforme ilustrado no espectro na figura 3.8b, a presença do elemento Ca. O resultado do estudo de microanálise por EDX, realizado dentro do grânulo formado pela matéria-prima têxtil permitiu colocar em evidência a composição química do grânulo, o qual é formado pelos elementos seguintes: Mg, Al, Si, K, Ca e Fe, constatando uma grande quantidade de Ca e Si conforme mostrado no espectro na figura 3.8b.

Para o material contendo 30% de matéria-prima têxtil, pode-se constatar uma boa interface agregado fino/gel. A figura 3.9 mostra a superfície de fratura do material, onde se observa, a existência de cavidades de acomodação dos grânulos de agregado fino.

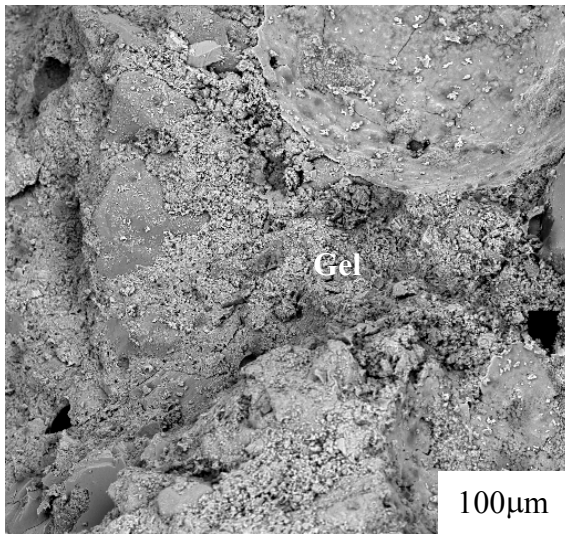


Figura 3.7a. Microestrutura do material Padrão, mostrando a formação do gel e microfissuras.

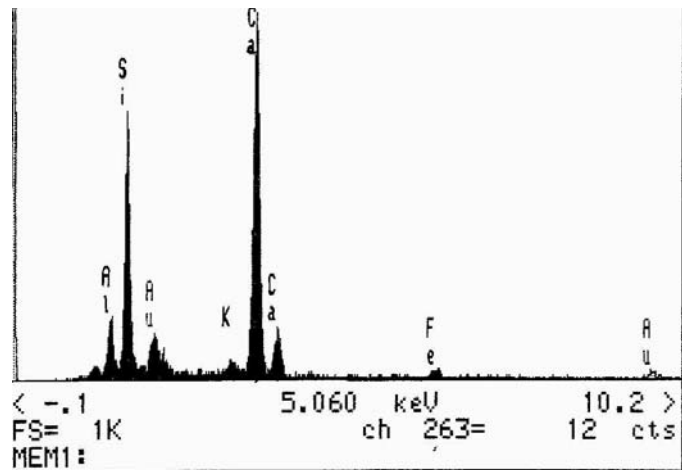


Figura 3.7b. Espectro de EDX mostrando picos de Al, Si, K, Ca e Fe do material Padrão.

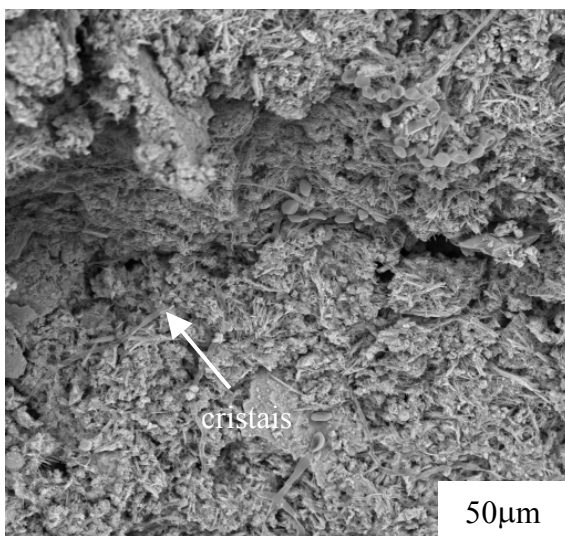


Figura 3.8a. Microestrutura do grânulo formado pela matéria-prima têxtil.

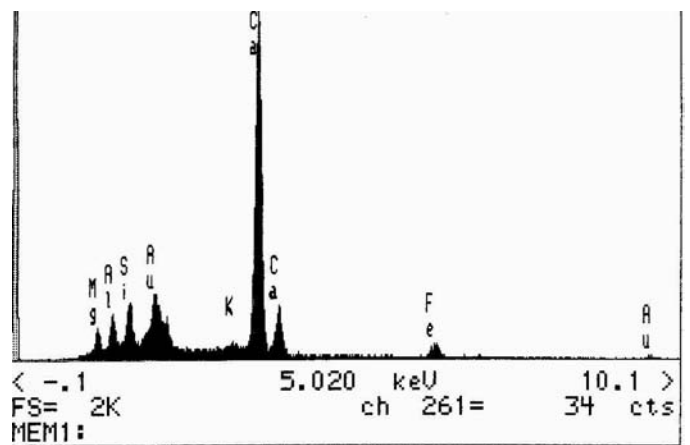


Figura 3.8b. Espectro de EDX mostrando picos de Mg, Al, Si, K, Ca e Fe dentro do grânulo da matéria-prima têxtil.

O material contendo 60% de matéria-prima têxtil apresentou uma interface agregado/gel de baixa qualidade, se comparado ao material com 30% de matéria-prima têxtil. Além disso, foi observada a presença de microporosidades e microfissuras conforme ilustra a Figura 3.10.

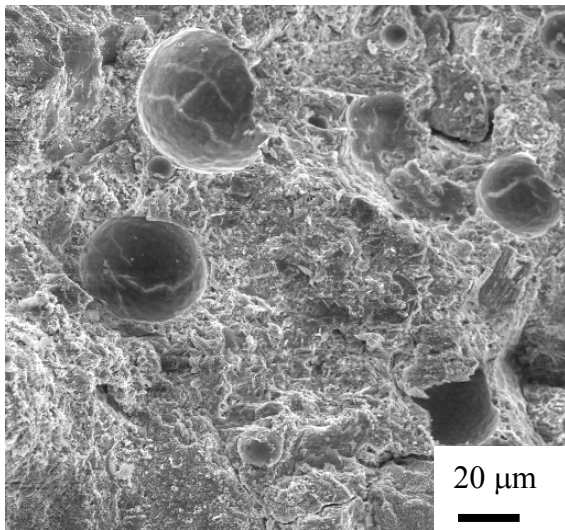


Figura 3.9. Microestrutura do material com 30% de matéria-prima têxtil mostrando a interface agregado/gel.

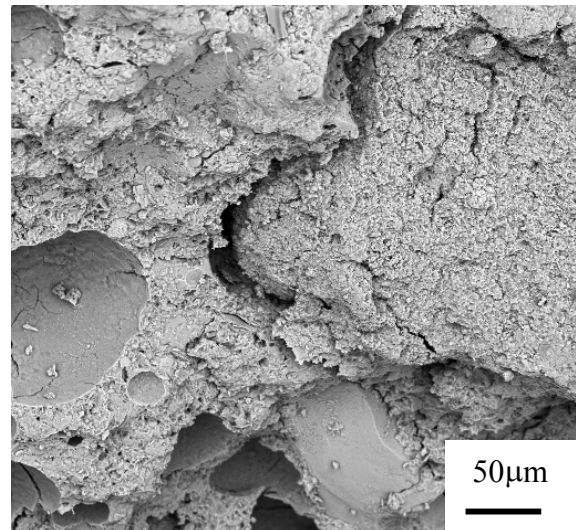


Figura 3.10. Microestrutura do material com 60 % de matéria-prima têxtil.

3.2.2. Caracterização microestrutural e microanálise por EDX para o material contendo em sua composição matéria-prima têxtil / poliuretano / fibras

Os estudos de caracterização da microestrutura, sobre a superfície de fratura, para o material contendo 30% de matéria-prima têxtil e 60% de poliuretano, verificou-se a formação de cristais anidritos, como também a presença de microporosidades. A Figura 3.11 mostra estas características.

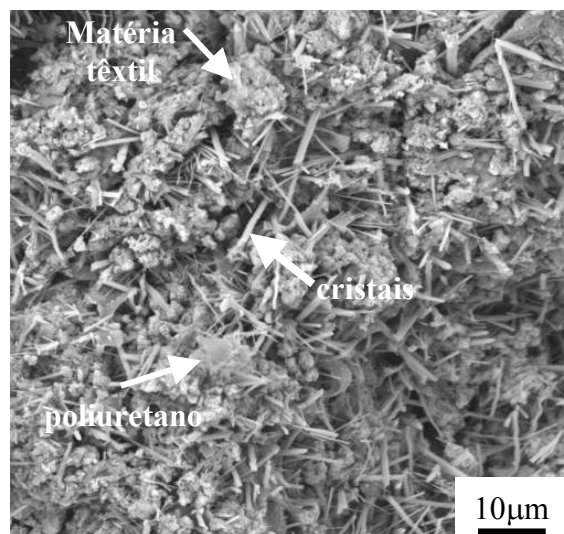
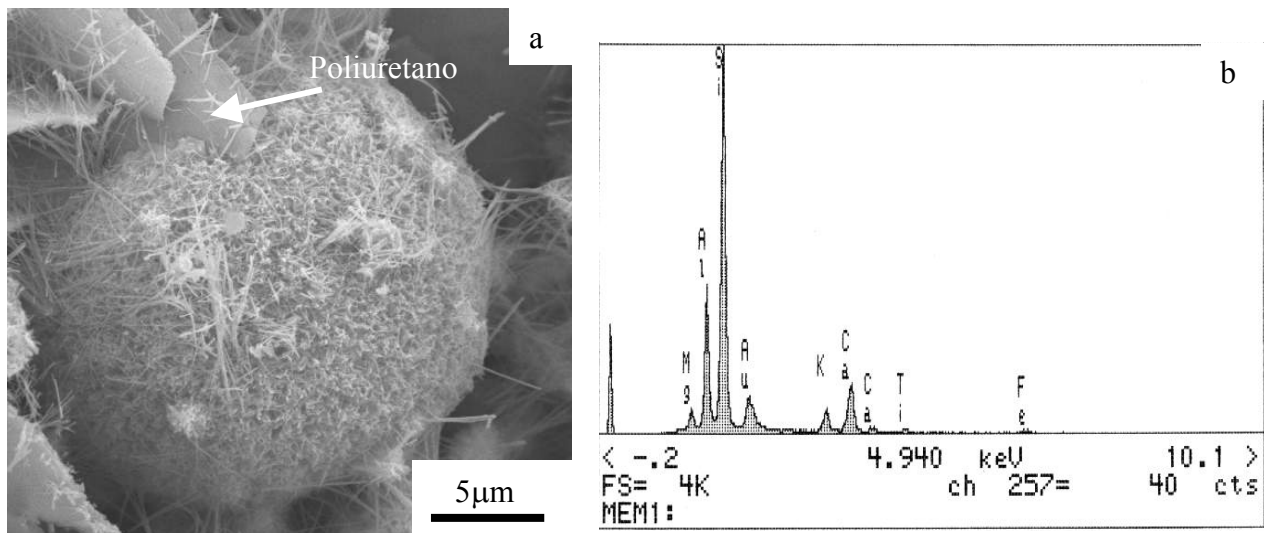


Figura 3.11. Microestrutura do material com 30% de matéria-prima têxtil e 60% de poliuretano, presença de cristais anidritos.

A figura 3.12a, mostra um grânulo formado pela matéria-prima têxtil, sendo sua superfície recoberta por fibras cristalinas, formadas de cristais anidritos. O resultado do estudo obtido pela microanálise por EDX, sobre o grânulo permitiu evidenciar a grande quantidade de Si, indicando a fase vítrea, entre os outros elementos: Mg, Al, Si, K, Ca, Ti e Fe (Figura 3.12b).



Figuras 3.12a. Microestrutura do grânulo recoberto por fibras de cristais anidritos (MEV), 3.12b. Espectro de EDX mostrando os picos dos elementos encontrados no grânulo Mg, Al, Si, K, Ca, Ti, e Fe.

Os resultados da caracterização microestrutural para o material com a composição de 30% de matéria-prima têxtil / 70% de poliuretano, observou-se em sua microestrutura, uma melhor formação dos cristais anidritos, também se constatou, que estes se apresentaram com forma mais homogênea por todo o material (figura 3.13), outra constatação foi a boa amarração entre os cristais anidritos, o que possivelmente veio a contribuir com as características das propriedades mecânicas do material, principalmente para o caso do material com 35 dias de cura (tensão de ruptura da ordem de 1,06 MPa). O espectro de EDX representado na figura 3.12b colocou em evidência os elementos químicos que compõem as fases de silicatos de cálcio, aluminato de cálcio e hidróxido de cálcio, os quais são obtidos pela hidratação dos silicatos e aluminatos de cálcio, pela composição C-S-H e hidróxido de cálcio, fases que se apresentam sob a forma de fibras com forma hexagonal, conforme ilustrado nas figuras 3.11 e 3.12.

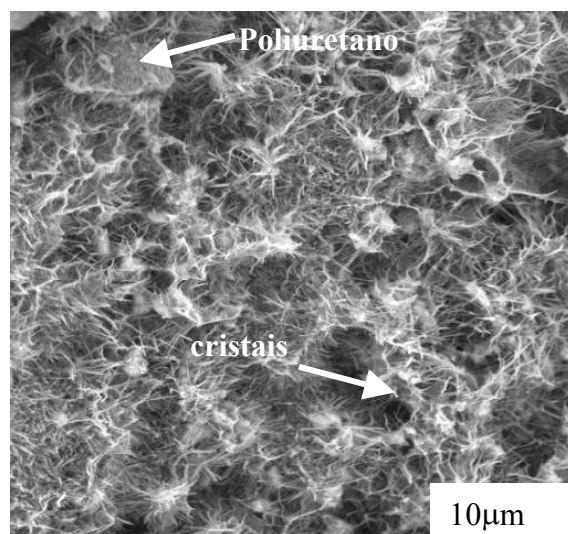


Figura 3.13. Microestrutura do material com 30% de matéria-prima têxtil / 70% poliuretano amarração dos cristais anidritos.

Para o material contendo 20% da matéria-prima têxtil / 80% de poliuretano, este apresentou em sua microestrutura, uma microporosidade superior em relação ao material com 70% de poliuretano; isto ocorreu possivelmente, devido a grande quantidade de poliuretano disperso no material. Verificou-se também a existência de regiões preferenciais de germinação e crescimento de cristais anidritos (Figura 3.14a) possivelmente devido a formação de aglomerados do poliuretano na preparação da argamassa, o que dificultou o processo de germinação dos cristais anidritos. Também foi constatada uma amarração destes cristais (Figura 3.14b).

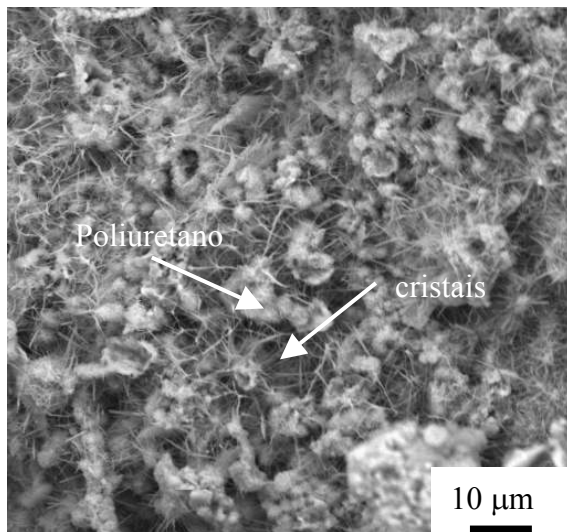


Figura 3.14a. Microestrutura do material com 20% de matéria-prima têxtil e 80% de poliuretano, cristais anidritos em regiões preferenciais.

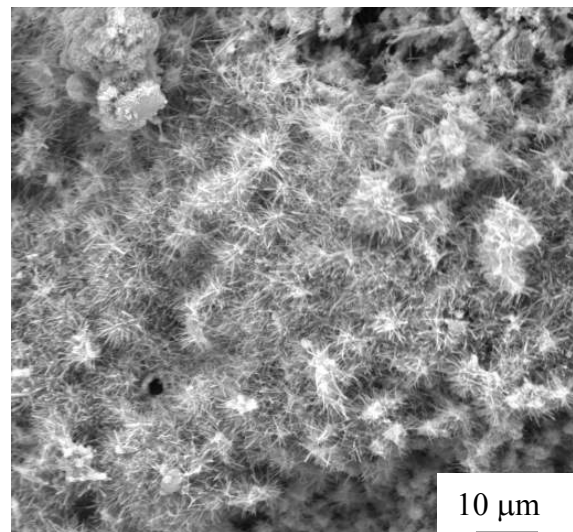


Figura 3.14b. Microestrutura do material com 20% de matéria-prima têxtil e 80% de poliuretano, amarração das fibras dos cristais anidritos.

Para o caso do material com a composição de 30% de matéria-prima têxtil / 70% de poliuretano, obtido com 35 dias de cura ambiente, este apresentou uma microestrutura, formada por finos cristais anidritos alongados, próximos as regiões formadas por aglomerações dos grânulos da matéria-prima têxtil, conforme pode ser observado na figura 3.15a. A figura 3.15b ilustra melhor as fibras alongadas dos cristais anidritos e sua amarração. Outra observação feita foi a boa interação entre os cristais anidritos e o poliuretano, apresentando uma boa amarração fibras e poliuretano (figura 3.16). A figura 3.17a mostra uma região de aglomeração dos grânulos da matéria-prima têxtil, constatou que após 35 dias de cura, existe uma modificação da microestrutura do material, principalmente nas regiões formadas pela aglomeração dos grânulos da matéria-prima têxtil, constatou-se uma modificação da microestrutura dos grânulos, em função ao tempo de cura do material, passando de grânulos anteriormente formado por partículas a um volume de fibras alongadas, conforme pode ser visto na figura 3.15b. Outra observação foi a formação de aglomeração de conchas e pequenas fibras de cristais anidritos, como mostrado na figura 3.17a. Isto pode ser explicado pela grande quantidade de carbonato de cálcio existente no material, o que levou a formação carbonato de cálcio, silicatos de cálcio, aluminato de cálcio e hidróxido de cálcio, em função do tempo de cura. O resultado

do estudo por microanálise de EDX, mostra em seu espectro, a existência, de uma grande quantidade de cálcio, alumínio e silício nestas regiões, conforme ilustrado na figura 3.17b. O que vem confirmar a formação das fases de silicatos, aluminatos de cálcio e hidróxido de cálcio.

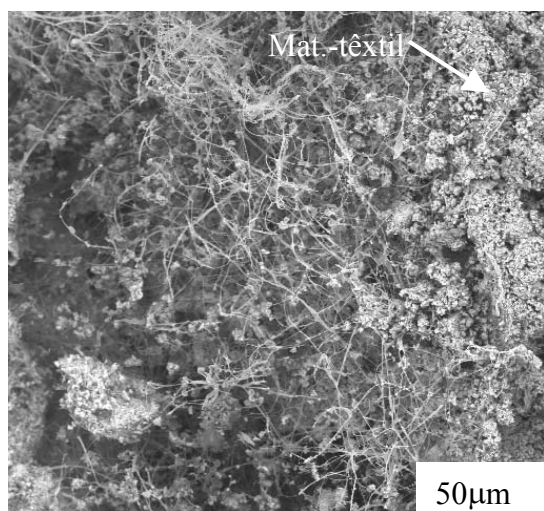


Figura 3.15a. Microestrutura do material com 30% de matéria-prima têxtil/70% de poliuretano. Finas fibras de cristais anidritos.

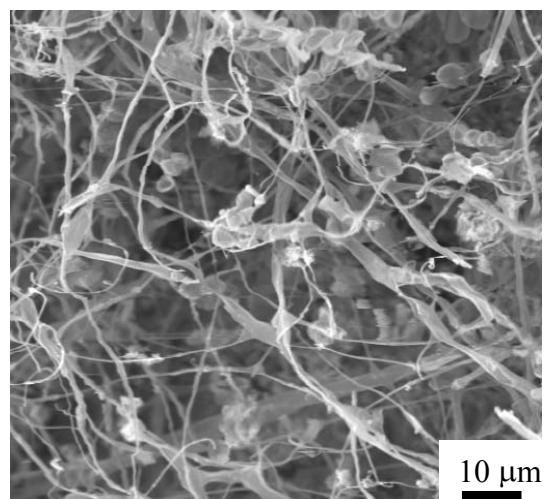


Figura 3.15b. Microestrutura do material com 30% de matéria-prima têxtil e 70% de poliuretano fibras longas e sua amarração.

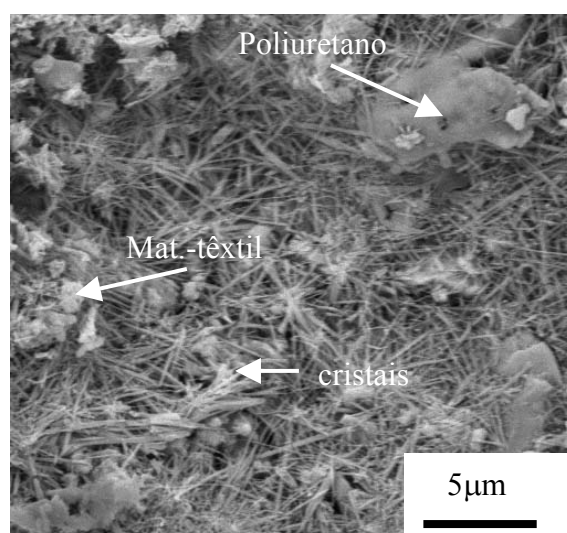
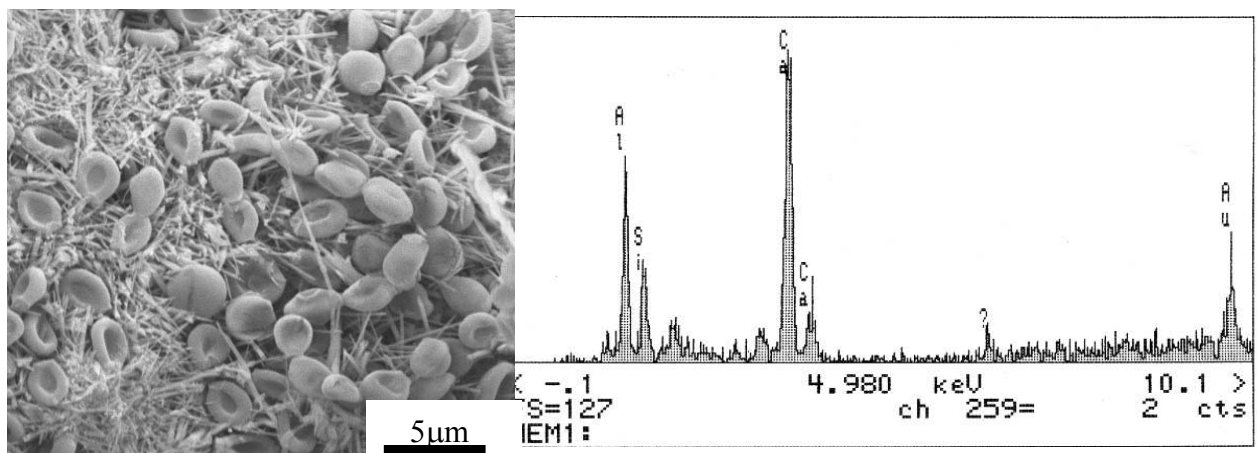


Figura 3.16 Microestrutura do material com 30% de matéria-prima têxtil e 70% de poliuretano com 35 dias de cura ambiente.



3.17a. Microestrutura mostrando aglomeração de conchas e pequenas fibras.

3.17b. Espectro de EDX ilustrando a presença dos elementos nesta região de aglomeração de conchas e pequenas fibras.

4. Estudo piloto realizado em nível industrial

Visto os melhores resultados obtidos das propriedades mecânicas, da perda de massa e da microestrutura, para o material com a composição de 30% de matéria-prima têxtil / 70% de poliuretano foi então, preparado um lote piloto em nível industrial. Preparou-se uma massa cerâmica utilizando esta composição, o volume de massa preparada, foi o suficiente para revestir 27 pias de aço inoxidável, estas passaram pelo processo de cura, 10 horas em estufa, após permaneceram 14 dias de cura ao meio ambiente livre. Constatou-se uma boa aparência do revestimento, outra observação foi a leveza da pia, um ganho da ordem de 30% em massa, se comparado com as pias, revestidas com o material convencional utilizado pela empresa. O estudo de caracterização da microestrutura do material de revestimento colocou em evidência a boa qualidade de interface entre a superfície lisa da chapa inox e o revestimento a figura 3.18a, mostra a existência desta boa aderência entre a chapa metálica e o revestimento cerâmico. Outra observação foi, a microporosidade presente no material de revestimento, (figura 3.18b).

Os resultados obtidos deste trabalho são encorajadores, em razão dos valores obtidos das propriedades mecânicas, serem superiores, aos valores exigidos para o tipo de aplicação na empresa, outro ponto importante obtido, foi a leveza do material de revestimento, o que levou, a um ganho da leveza por pia produzida, da ordem de 30% em

massa, para um tempo de cura de 10 horas em estufa. Também as características da microestrutura do material, por apresentarem uma microestrutura microporosa com boa qualidade de interface entre o poliuretano/fibras e o gel, outra vantagem foi crescimento de um volume significativo dos cristais anidritos no volume do material, elevando as propriedades mecânicas do material em função do tempo. Por fim obteve-se uma boa interface entre material cerâmico e chapa inox, indicando uma excelente aderência do material cerâmico na superfície lisa da chapa metálica.

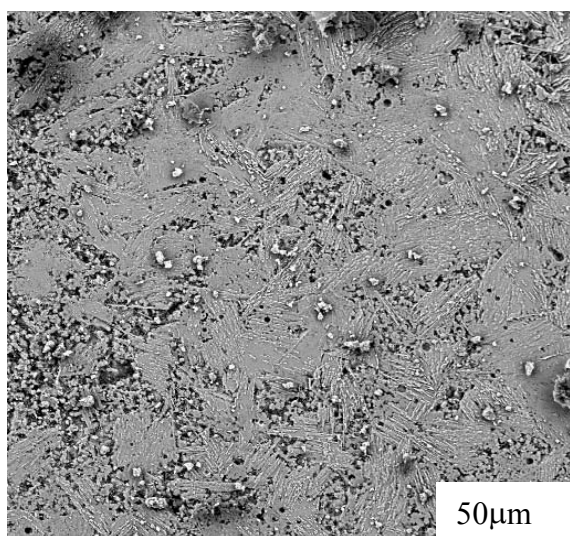


Figura 3.18a. Microestrutura na interface entre a chapa metálica e material cerâmico, mostrando a boa aderência.

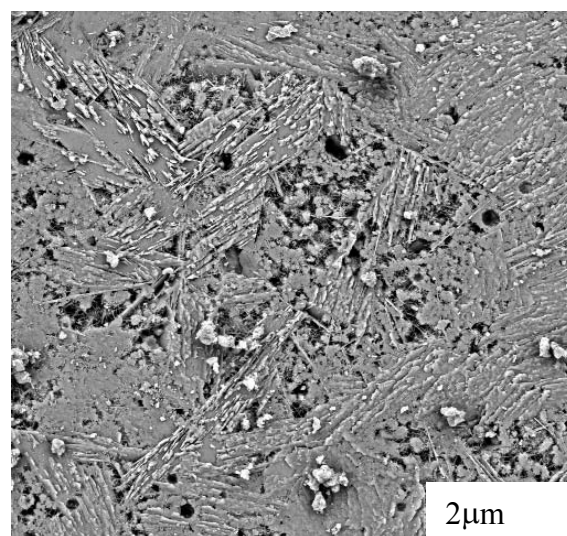


Figura 3. 18b. Microestrutura na interface entre a chapa metálica e material cerâmico, ilustrando microporosidade, fibras e a boa aderência.

5. Caracterização da microestrutura do material convencional utilizado pela FRANKE-DOUAT

O material convencionalmente utilizado pela empresa, no revestimento das chapas metálicas, é formado pela composição cimento/areia/água/fibras/ e poliestireno expandido. Os resultados dos estudos de caracterização da microestrutura deste material colocaram em evidência a presença de uma microporosidade, microfissurações, além de uma interface agregado/gel de baixa qualidade, se comparado com o novo material desenvolvido com 30% de matéria-prima têxtil / 70 de poliuretano, (Figura 3.19a). Outra constatação foi praticamente a inexistência de cristais anidritos, isto se deve principalmente pela presença

do poliestireno expandido na massa cerâmica que acaba retendo grande quantidade de água em seu volume, inibindo assim a germinação e crescimento dos cristais anidritos, o que acaba levando a uma certa fragilização das propriedades do material (Figura 3.19b).

Com relação a qualidade de interface entre poliestireno expandido/gel, observa-se na figura 3.19a e b, aglomeração do poliestireno expandido, apresentando uma interface, formada por microfissuras e um gel micropososo, possivelmente isto ocorre devido, primeiro a uma expansão do poliestireno expandido dentro do material, em função da água retida em seu volume, e após pelo aquecimento na estufa, através da liberação da água, levando a microporosidade do gel, o que vem a fragilizar as características de propriedades mecânicas do material.

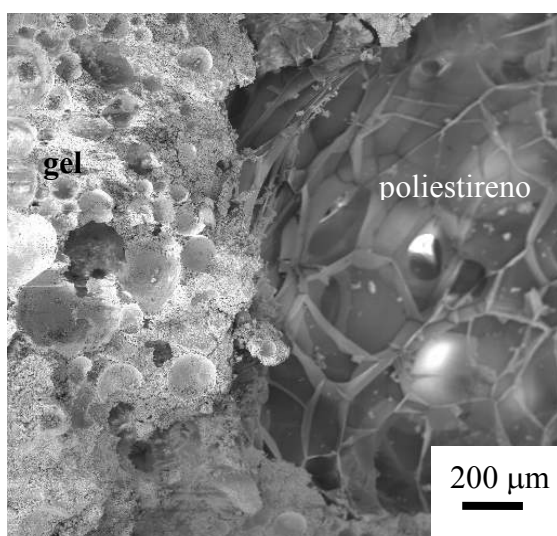


Figura 3.19a. Microestrutura do material utilizado pela FRANKE-DOUAT, ilustrando interface gel/poliestireno expandido.

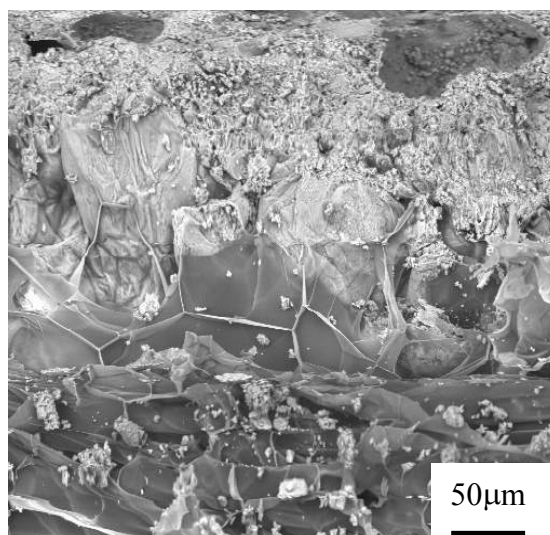


Figura 3.19b. Microestrutura do material utilizado pela FRANKE-DOUAT, mostrando a interface do poliestireno expandido com o gel.

6. Resultado da análise ambiental para o material com a composição de 30% de matéria-prima têxtil e 70% de poliuretano

O objetivo deste estudo foi verificar a composição final que constitui o material e viabilizar a utilização destas matérias-primas alternativas na confecção de materiais para aplicação em revestimentos de chapas metálicas ou em outras aplicações, respeitando as normas de segurança do meio ambiente e meio de utilização.

As análises químicas realizadas de lixiviação e solubilização se referem ao material com a composição de 30% de matéria-prima têxtil / 70% de poliuretano. O primeiro estudo de caracterização do material foi sobre a periculosidade do material, sendo o resultado obtido da análise representado na Tabela 3.15, indicando que o material não apresenta características de um material perigoso.

Este trabalho foi realizado pelo Laboratório de Análises Químicas LABORQUÍMICA.

Tabela 3.15. Parâmetros do material contendo 30% de matéria-prima têxtil e 70% de poliuretano [LABORQUÍMICA, 2001].

Determinação	Unidades	Resultado
Umidade	% H ₂ O	7,4
pH (Solução a 5%)	x-x-x-x	11,9
Óleos e Graxas	mg/kg	0,34
Cianetos	mg/kg CN ⁻	N.D.
Sulfetos	mg/kg H ₂ S	0,25
Cinzas	%	80,0

Os resultados estão expressos em base seca, com exceção da umidade e do pH.

Observando o resultado da análise fornecida pela LABORQUÍMICA, referente ao novo material cerâmico, apresentou em sua composição uma leve quantidade de sulfetos, porém em pequena quantidade. O teor de umidade (h) de 7,4 %.

Através do laudo de classificação de resíduo sólido apresentado pela LABORQUÍMICA, o material analisado apresentou-se sob forma sólida; não é constituída de restos de embalagens e não é produto fora de especificação ou resíduo de derramamento; não é inflamável; não é corrosiva; não apresenta características de reatividade; não pode ser considerada como “patogênico”; não apresenta características de toxicidade; apresenta características que indicam sua biodegradabilidade; apresentam, no extrato do ensaio de solubilização, parâmetros acima dos limites estabelecidos para materiais inertes.

Na Tabela 3.15 verifica-se, que o material analisado não contém ânions cianetos, e a concentração de sulfetos é baixa, deste modo, o material não apresenta periculosidade sob o ponto de vista da reatividade.

Os resultados obtidos na análise do extrato do ensaio de lixiviação são apresentados na Tabela 3.16, já comparados com os valores máximos permitidos. Os dados do ensaio propriamente dito foram os seguintes:

pH inicial: 6,8

pH após 24 horas: 5,0

Tempo total da lixiviação: 24 horas

Volume de ácido: 30,0 ml

Volume total do líquido lixiviado: 1.580,0 ml

Tabela 3.16. Ensaio de lixiviação do material contendo 30% de matéria-prima têxtil / 70% de poliuretano [LABORQUÍMICA, 2001].

Determinação	Unidades	Resultado	Máximo segundo NBR-10.004
Fluoretos	mg/l F ⁻	1,5	150,0
Arsênio	mg/l As	N.D.	5,0
Bário	mg/l Ba	3,3	100,0
Chumbo	mg/l Pb	0,43	5,0
Cromo	mg/l Cr	0,1	5,0
Cádmio	mg/l Cd	0,03	0,5
Mercúrio	mg/l Hg	N.D.	0,1
Prata	mg/l Ag	0,03	5,0
Selênio	mg/l Se	N.D.	1,0

N.D. = Não detectado.

Como pode ser observado na Tabela 3.16 nenhum dos parâmetros analisados se verificam acima dos valores máximos permitidos; deste modo, pode-se concluir que o material em estudo não apresenta características que o torne perigoso por toxicidade.

O material em estudo (material contendo 30% de matéria-prima têxtil e 70% de poliuretano) não apresenta características que possam indicar uma eventual contaminação por microorganismos patogênicos. Concluindo, pode-se considerar que de acordo com a NBR 10.004 a argamassa não deve ser considerada como “patogênica”.

Nas Tabelas 3.17 e 3.18 estão representados os resultados obtidos da análise de solubilização, já comparados com os valores padrões de potabilidade. São apresentados em negrito os parâmetros que apresentaram resultados superiores aos valores estimados pela norma.

Tabela 3.17. Ensaio de solubilização do material contendo 30% de matéria-prima têxtil e 70% de poliuretano – Parte I [LABORQUÍMICA, 2001].

Determinação	Unidades	Resultado	Máximo segundo NBR-10.004
Fenóis	mg/l C ₆ H ₅ OH	0,27	0,001
Surfactantes	mg/l ABS	0,08	0,2
Cianetos	mg/l CN ⁻	N.D.	0,1
Cloretos	mg/l Cl ⁻	35,0	250,0
Fluoretos	mg/l F ⁻	0,9	1,5
Sulfatos	mg/l SO ₄ ⁻	16,0	400,0
Nitratos	mg/l NO ₃ ⁻	0,5	10,0
Dureza	mg/l CaCO ₃	1.350,0	500,0
Alumínio	mg/l Al	0,26	0,2
Arsênio	mg/l As	N.D.	0,05
Bário	mg/l Ba	0,69	1,0
Chumbo	mg/l Pb	0,07	0,05
Cobre	mg/l Cu	0,52	1,0
Cromo	mg/l Cr	0,06	0,05

N.D. = Não Detectado.

Os resultados ilustrados na tabela 3.17 mostraram a presença de alguns elementos ligeiramente superiores aos valores estimados pela norma NBR 10.004, sendo o CaCO₃, e o Al, possivelmente devido às quantidades de cal e sulfato de alumínio utilizados no processo de tratamento dos efluentes. Os fenóis e o cromo, possivelmente ainda são

resultantes do processo de tingimento dos tecidos, neste caso, devem ser ainda realizados os estudos complementares para verificar a estabilização destes elementos dentro do exigido pela norma NBR 10.004.

Tabela 3.18. Ensaio de solubilização do material contendo 30% de matéria-prima têxtil e 70% de poliuretano - Parte II [LABORQUÍMICA, 2001].

Determinação	Unidades	Resultado	Máximo segundo NBR-10.004
Cádmio	mg/l Cd	N.D.	0,005
Ferro	mg/l Fe	0,08	0,3
Manganês	mg/l Mn	N.D.	0,1
Mercurio	mg/l Hg	0,001	0,001
Prata	mg/l Ag	N.D.	0,05
Selênio	mg/l Se	N.D.	0,01
Sódio	mg/l Na	154,0	200,0
Zinco	mg/l Zn	N.D.	5,0

N.D. = Não Detectado.

7. CONCLUSÃO

O estudo preliminar colocou em evidência a composição química da matéria-prima alternativa têxtil, observando os valores de CaCO_3 , surfactantes e alumínio ligeiramente superiores aos valores estimados pela norma NBR 10.004. O primeiro estudo comparativo, da perda de massa e propriedades mecânicas, entre o material chamado de padrão constituído com a composição cimento/areia/água, em relação aos materiais obtidos com as quantidades de matéria-prima têxtil de 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50 e 60% em volume, evidenciou que o aumento das quantidades de matéria-prima têxtil na composição do material, obteve-se menor densidade observando o melhor resultado, para os materiais obtidos com 60% de matéria têxtil na composição do material, obtido com 10 horas de cura em estufa, se comparado com o valor do material considerado padrão, houve um ganho de leveza da ordem de 16%, já para o material obtido com 7 dias de cura ambiente, em relação ao padrão, houve um ganho da leveza da ordem de 19%. Em nível das propriedades mecânicas para os materiais obtidos da cura com 7 dias, constatou uma

diminuição da tensão de ruptura, conforme mostrado na tabela 3.5, observando menor valor para o material com 60% de matéria-prima têxtil em sua composição (0,91MPa), valor que estaria ainda dentro do exigido pela empresa. A incorporação da fibra de polipropileno na preparação da massa cerâmica teve como interesse aumentar as propriedades mecânicas do material, os resultados comparativos entre os materiais com fibra e sem fibras, ilustrados nas tabelas 3.5 e 3.7, colocou em evidência o aumento das propriedades mecânicas, aqui particularmente para o caso do material com 60% de matéria-prima têxtil, valor passando de 0,91MPa para 1,29MPa, havendo um ganho da tensão de ruptura na ordem de 29%; para o caso do material com 30% de matéria-prima têxtil, o valor foi de 27% em relação ao material sem fibra.

Na continuidade dos trabalhos, utilizou-se como valor otimizado 30% da matéria-prima têxtil, 0,0076 litros de fibras de polipropileno, e incorporou-se na argamassa o poliuretano, nas quantidades de 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 60, 70 e 80% em volume, com objetivo de baixar a densidade do material (melhorar a leveza). O material obtido com 80% de poliuretano apresentou a menor densidade, mas também, apresentou o menor valor para a tensão de ruptura, valor da ordem de 0,72 MPa, para um tempo de cura de 7 dias, valor que ficou no limite exigido pela empresa. Os valores comparativos da massa, entre o material convencionalmente utilizado pela empresa e o novo material com 30% matéria têxtil, 70% e 80% em volume de poliuretano, mostrou claramente melhor resultado da densidade para o material com 70% de poliuretano em sua composição, conforme pode ser observado na tabela 3.12. Com relação as propriedades mecânicas, o material apresentou tensão de ruptura de 0,78MPa, para um tempo de 7 dias de cura ambiente, valor encontrando-se no limite exigido pela empresa.

A otimização da composição referente ao traço com 30% matéria-prima têxtil / 70% de poliuretano / fibra foi o que apresentou melhores resultados de leveza (menor densidade), propriedades mecânicas aceitáveis pelo solicitado pela empresa, os resultados obtidos com esta composição, superou as perspectivas e os objetivos propostos pelo projeto de parceria com a empresa, referente a melhorar as características de leveza do material e das propriedades mecânicas, havendo um ganho da leveza por pia revestida, da ordem de 30% em relação aos valores obtidos com material convencional utilizado pela empresa. Os resultados referente ao estudo complementar, obtidos dos corpos-de-prova com 35 dias de cura ambiente, evidenciou, para o caso do material otimizado, um aumento

das propriedades mecânicas da ordem de 26%, perda de massa em função do tempo de cura, da ordem de 7% em relação ao material obtido com 7 dias de cura ambiente.

Os resultados da caracterização microestrutural colocaram em evidência, para o caso do material com a composição otimizada: 30% matéria-prima têxtil / 70% poliuretano / fibras, mostrando uma microestrutura formada por cristais anidritos distribuídos de uma forma homogênea dentro da microestrutura do material, apresentou uma boa qualidade de interface entre agregado de poliuretano, matéria-prima têxtil e gel. Outra observação foi a boa qualidade de interface entre o material de revestimento e chapa metálica, mostrando existir uma boa aderência do material na chapa, conforme ilustrado nas figuras 3.18a e 3.18b.

Com base neste estudo pode-se observar que o resíduo de poliuretano aliado ao resíduo têxtil poderá vir a servir como um agregado fino na produção de argamassa tanto para revestimento de chapas metálicas quanto para a construção civil. Porém para certas aplicações existe a necessidade da realização de estudos mais aprofundados no que diz respeito ao comportamento da argamassa quando exposta ao ambiente.

Este foi um primeiro estudo, sobre a utilização destas fontes alternativas como matérias-primas, existe muito trabalho a ser feito, em busca da reciclagem e reaproveitamento de resíduos sólidos industriais, procurando otimizar os métodos de preparação dos materiais, as quantidades a serem utilizadas de matérias-primas alternativas, na fabricação dos novos materiais, viabilizar os tipos de aplicações, sem riscos para o meio, como para o tipo de solicitação que será sujeito o novo material.

8. CONCLUSÃO GERAL

O aspecto original deste trabalho foi elaborar e caracterizar um material cerâmico de baixa densidade, para aplicação em revestimento sobre chapas metálicas, a partir de matérias-primas alternativas (resíduos sólidos industriais). Foram utilizadas as matérias-primas alternativas de origem da indústria têxtil e pó de poliuretano resultante do processo de isolamento de refrigeradores. Estas matérias-primas foram utilizadas em substituição ao agregado fino (areia), visto apresentarem uma diferença de densidade importante, em relação a areia convencionalmente utilizada no processo industrial.

O estudo preliminar serviu de apoio na otimização de um traço, 30% de matéria-prima têxtil / 70% de poliuretano, na confecção da argamassa de revestimento, a qual forneceu um material cerâmico de revestimento apresentando características de propriedades adequadas ao tipo de solicitação exigida, um ganho de leveza do material da ordem de 30%, em relação ao material convencionalmente utilizado pela empresa, além de produção de um revestimento de baixo custo. A justificativa da importância da leveza do material é devido o transporte das peças ser cobrado em peso, e quanto mais leve a peça, menor será o custo do transporte.

Este trabalho veio mostrar, que certos resíduos sólidos, resultantes dos processos industriais, poderão servir de matérias-primas na confecção de novos materiais, apresentando novas performances de propriedades físicas, mecânicas e da microestrutura. Os estudos de caracterização pela técnica de microscopia eletrônica de varredura, colocaram em evidência a qualidade da microestrutura do novo material, formada pelo gel, fibras dos cristais anidritos distribuídas em todo o volume do material, excelente qualidade de interface entre agregado de poliuretano e grânulos da matéria-prima têxtil/gel. Os estudos de microanálise por EDX evidenciou a presença dos principais elementos químicos que constituem o material, Ca, Si, e Al, elementos que através da hidratação favorece a formação das fases de aluminato, silicatos de cálcio e hidróxidos de cálcio, quando numa mistura de cimento e água, ocorrido pela hidratação, dissolução das partículas de cimento e pela hidrólise na formação do Ca(OH)_2 , assim formando uma microestrutura constituída por um volume significativo de fibras de cristais anidritos, conforme pode ser visto na figura 3.13.

Tem-se consciência da necessidade de realização de muitos estudos, em relação a utilização de matérias-primas alternativas (resíduos sólidos industriais) no desenvolvimento de novos materiais, visto estas de uma maneira geral, apresentarem composições químicas complexas, o que muitas vezes, vem dificultar o estabelecimento de métodos mais simples de elaboração de um novo material, também referente ao tipo de aplicação do novo material, pois aqui sempre se deve levar em consideração a preservação do meio ambiente e do ser humano.

A Engenharia de Materiais, através dos programas de pós-graduação e desenvolvimento de pesquisa, é atualmente uma fonte de formação de recursos humanos pensantes, que tem contribuído, na solução de problemas industriais, através de projetos de pesquisa em parceria, o que tem levado ao desenvolvimento de um número crescente de novos materiais, além de contribuir para a preservação do meio ambiente, tornando estas matérias-primas alternativas, hoje chamadas de resíduos, em uma fonte de negócios para as empresas.

Este trabalho deixa claro em seus resultados, que estas fontes alternativas, podem servir de matérias-primas, na produção de um novo material cerâmico, aqui em especial, utilizado como um revestimento, o qual veio melhorar as características de propriedades físicas, leveza do revestimento, da microestrutura do material, fornecendo um revestimento com propriedades mecânicas adequadas para o tipo de aplicação do revestimento, além de produzir um material de revestimento de baixo custo.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBUQUERQUE, Jorge Artur Cavalcante.** O Plástico na Prática. 2a. ed. Editora Sagra Luzzato. Porto Alegre, 1999, p. 159-161.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT.** Agregado para Concreto – Especificação – NBR 7211. MAIO, 1983.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT.** Amostragem de Resíduos – Procedimento – NBR 10007 / 1987. Rio de Janeiro, 1987.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT.** Argamassa Industrializada para Assentamento de Paredes e Revestimento de Paredes e Tetos – Especificação – NBR 13281. Fevereiro, 1995, 2p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT.** Bloco Cerâmico para Alvenaria – Especificação – NBR 7171. Junho, 1983, 11p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT.** Bloco Cerâmico para Alvenaria – Forma e Dimensões – Padronização – NBR 8042. Junho, 1983, 4p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT.** Bloco Cerâmico para Alvenaria – Verificação da Resistência à Compressão – Método de Ensaio – NBR 6461. Junho, 1983, 3p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT.** Bloco Cerâmico Portante para Alvenaria – Determinação da Área Líquida – Método de Ensaio – NBR 8043. Junho, 1983, 2p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT.** Determinação da composição granulométrica dos agregados – Método de Ensaio – NBR 7217. Fevereiro, 1982.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT.** Determinação da Resistência à Compressão – Método de Ensaio – NBR 7215. Rio de Janeiro, 1991.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT.** Execução de revestimento de paredes e tetos com argamassas inorgânicas - Procedimento - NBR 7200. Rio de Janeiro, 1998a.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT.** Lixiviação de Resíduos – Procedimento – NBR 10005 / 1987. Rio de Janeiro, 1987.

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT.** Moldagem e Cura de Corpos-de-prova Cilíndricos e Prismáticos de Concreto. Procedimento – NBR 5738. Rio de Janeiro, 1994.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT.** Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos de concreto. Procedimento – NBR 5739. Rio de Janeiro, 1994.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT.** Preparação de Concreto em Laboratório – Procedimento - NBR 12821. Rio de Janeiro, 1994.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT.** Revestimentos de Paredes e Tetos com Argamassas – Materiais, preparo, aplicação e manutenção – Procedimento – NBR 7200. Rio de Janeiro, 1982.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT.** Revestimentos de Paredes e Tetos de Argamassas Inorgânicas – Classificação – NBR 13530. Novembro, 1995, 2p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT.** Resíduos Sólidos – Classificação – NBR 10004/1987. Rio de Janeiro, 1987.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT.** Solubilização de Resíduos – Procedimento – NBR 10006 / 1987. Rio de Janeiro, 1987.
- BITTENCOURT, Túlio N.; PROENÇA, Sérgio P.** Algumas características do comportamento mecânico do concreto. Aula 2 (PEF-5744). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2000, 32p.
- BLASS, Arno.** Processamento de Polímeros. Ed. Da UFSC, 2ª edição, Florianópolis, 1988, p. 49-50.
- BONIN, André Luiz.** Reutilização de Areia Preta de Fundação na Construção Civil. Congresso de Fundação,.1995, p. 205-221.
- BRESCANSIN, Janaína.** Influência da Incorporação de Resíduos Sólidos a Base de Sílica e de Óxido de Cálcio em Argamassas para Construção Civil. Congresso em Ciência de Materiais. Joinville, 2000, p. 195-203.
- CALMON, João Luiz; TRISTÃO, Fernando; LORDÉLLO, Fernando; SILVA, Sérgio; MATTOS, Flávio V.** Aproveitamento do Resíduo de Corte de Granito para a Produção de Argamassas de Assentamento. Anais do II Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas. Salvador, 1997, p. 64-75.

- CAPONERO, J; TENÓRIO, J. A. S.** Comportamento da Lama de Fosfatização no Processo de Produção de Clínquer de Cimento Portland. Anais do Congresso Brasileiro de Cerâmica. Florianópolis, 1999, p. 42401-42410.
- CASTILHOS, Armando Borges de ; PRIM, Elivete Carmem Clemente ; CHERIAF, Malik ; ROCHA, Janaíde Cavalcante.** Uso de lodo têxtil na construção civil. Revista Saneamento Ambiental n. 58. Edição Especial, 1999, p. 32-39.
- CAVALCANTE, J. R.; CHERIAF, M.** Ensaio de Avaliação para Controle Ambiental de Materiais com Resíduos Incorporados. Workshop: Reciclagem e Reutilização de Resíduos como Materiais de Construção Civil. São Paulo, 1996, p. 31-37.
- CETESB – COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL.** Nota técnica sobre tecnologia de controle indústria têxtil. São Paulo, 1991, 31p.
- CINCOTTO, M. A.; CARNEIRO, A. M. P.** Estudo da influência da distribuição granulométrica nas propriedades das argamassas dosadas por curva granulométrica. In: III Simpósio de Tecnologia das Argamassas, Vitória – ES. Anais, 2v, v.1, p. 3-28, 1999.
- COUTO, Carmen Ribeiro.** Aplicabilidade da escória de alto forno em argamassas de assentamento e argamassas de revestimento. Escola de Engenharia. Universidade Federal de Minas Gerais, 1999.
- DAFICO, Dario de Araújo; PAZ, Mário A. da; SANTOS, Sílvia.** Utilização de Fibras de Polipropileno em Argamassas de Assentamento de Blocos Cerâmicos com Furos na Vertical. II Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas. Salvador, 1997, p. 296-306.
- ESTRELLA, Silvana Penedo.** Diagnóstico de resíduos sólidos industriais em Santa Catarina – Perspectivas de uso na construção civil. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina, 1996, 123p.
- FANTOZZI, G.** Rupture des Matériaux, cours I.N.S.A. de Lyon, 1988, p.I.91-I.95.
- FERREIRA, Luiz Eduardo Teixeira.** Análise de parâmetros de tenacidade ao fraturamento dos concretos, obtidos em ensaios de flexão de vigas. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 1998.
- FIGUEIREDO, Antônio Domingues.** Concreto com fibras de aço. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Boletim Técnico. São Paulo, 2000, 70p.

- FILOMENO, Orlando Luz.** Caracterização das argamassas de assentamento empregadas na região de Florianópolis e estudo comparativo entre argamassas de assentamento de cimento e cal e cimento e saibro. Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. Dissertação de Mestrado, 1993, 62p.
- FIORITO, Antonio J. S. I.** Manual de Argamassas e Revestimentos: Estudos e Procedimentos de Execução. São Paulo: Pini, 1994, 221p.
- GRANDI, Luiz Alfredo.** Placas Pré-moldadas de Argamassas de Cimento e Pó de Serra. Tese (Doutorado). Universidade Estadual de Campinas, 1995, 128p.
- JOHN, Vanderley M.** Reciclagem de Resíduos na Construção Civil: Contribuição à Metodologia de Pesquisa e Desenvolvimento. Tese. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2000, 113p.
- JORAND, Y.** Elaboration et caractérisation de composites dispersoïdes ternaires base alumine-zircone à vocation thermomécanique. Thèse de Doctorat, Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, 333 p., 1991.
- LEVY, Salomon M.; HELENE, Paulo R. L.** Propriedades Mecânicas de Argamassas Produzidas com Entulho de Construção Civil. Workshop de Reciclagem e Reutilização de Resíduos Como Materiais de Construção Civil. São Paulo, 1996, p. 137-146.
- MÉLO, Aluísio Bráz de ; LIBORIO, Jefferson ; SILVA, Isac José da.** Influência da Temperatura de Cura no Desenvolvimento de Resistência à Compressão de Matrizes de Cimento Portland com Adições: Cálculos Aproximados das Contribuições Parciais e Individuais da Escória de Alto Forno e da Sílica Ativa. 5º Congresso Brasileiro de Cimento. São Paulo, 1999, 15p.
- MENDES, Mara Regina.** Desenvolvimento de Agregados Leves a Partir de Subproduto da Mineração de Carvão e de Lodo de Estação de Tratamento de Efluentes de Indústria Têxtil. Dissertação. (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais). Universidade Federal de Santa Catarina, 1998, 104p.
- METHA, P. K. ; MONTEIRO, PP.J.M.** Concreto : Estruturas, Propriedades e Materiais. Editora Pini, São Paulo, 1994, 573p.
- MIRANDA, Leonardo Fagundes Rosembac.** Estudo de Fatores que Influenciam na Fissuração de Revestimentos de Argamassa com Entulho Reciclado. Dissertação. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2000, 172p.

- MURAT, M.** Cours de Materiaux Applique Au Genie Energetique, vol. III. INSA de Lyon
Departamento de Génie Energetique, 1990, 167 p.
- NASCIMENTO, Otávio Luiz; ALMEIDA, Nilton Jorge; SIQUEIRA, Firmino S ;
REIS, Rubens José Pedrosa ; CAMPOS ; Luciana Pinheiro.** Argamassas
Reforçadas com Fibras para Regiões de Esforços Diferenciados na Alvenaria. Anais
do II Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas. Salvador : 1997, p. 287-
295.
- NEVILLE, Adams Matthew.** Propriedades do Concreto. 2^a ed. rev. São Paulo: Pini,
1997.
- OLIVEIRA, Djane de Fátima ; NEVES, Gelmires de Araújo.** Aproveitamento do
Rejeito de Borracha para Uso em Argamassas de Alvenaria. Anais do 43^o Congresso
Brasileiro de Cerâmica. Florianópolis, 1999, p. 323001-323010.
- PINTO, José Antônio do Nascimento.** Elementos para a Dosagem de Argamassas. 2 ed.
Santa Maria : MULTIPRES, 1996, 143p.
- PRIM, Elivete Carmem Clemente.** Reaproveitamento de lodo têxtil e da cinza pesada na
construção civil : aspectos tecnológicos e ambientais. Dissertação (Mestrado em
Engenharia Ambiental). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 1998,
107p.
- PROENÇA, Sergio Persival Baroncini.** Introdução à Mecânica do Dano e Fraturamento:
Fundamentos dos Mecanismos Físicos de Deformação e Ruptura. Escola Politécnica
da Universidade de São Paulo. São Carlos, 2000, 19p.
- SANTOS, Sílvia.** Estudo da Viabilidade de Utilização de Cinza de Casca de Arroz
Residual em Argamassas e Concretos. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil).
Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 1997, 111p.
- SCHMIDT, Adriano Emilio.** Caracterização de Areia de Sistema de Moldagem Verde
para Utilização na Fabricação de Argamassa e Blocos para Construção Civil.
Relatório de Iniciação Científica – CNPq. Universidade do Estado de Santa Catarina.
Joinville, 2000, 39p.
- SILVA, José Isac; LIBÓRIO, Jefferson B. L.** Hidratação do Concreto de Alto
Desempenho e Suas Propriedades Mecânicas. 43^o Congresso Brasileiro de Cerâmica.
Florianópolis, 1999, p. 30301-30312.

- SILVA, N. I.W.** Incorporação de Lodo Orgânico Fibroso em Argila para a Produção de Componentes de Cerâmica Vermelha. Congresso Brasileiro de Cerâmica nº 1, 1997, p. 298-300.
- SILVA, N.I.W. e BELO, P.** Avaliação de misturas de resíduo sólido com argila plástica para aplicação em cerâmica vermelha. Anais do 40º Congresso Brasileiro de Cerâmica e 1º Congresso de cerâmica do Mercosul - Parte II, 1996, p. 335-338.
- SOUZA, M.T.S.** Rumo à prática empresarial sustentável. Revista de Administração de Empresas, São Paulo, vol.33, nº 4, p.40-52, Jul./Ago. 1993.
- TRISTÃO, Fernando Avancini.** Influência da Composição Granulométrica da Areia nas Propriedades das Argamassas de Revestimento. Universidade Federal de Santa Catarina. Dissertação de Mestrado. Florianópolis, 1995, 197p.
- YANG, R., SHARP, J.H.** Hydration characteristics of portland cement after heat curing: I, Degree of hydration of the anhydrous cement phases. J. Am. Ceram. Soc. Vol. 84, nº3, p. 608-614, 2001.
- YANG, R., SHARP, J.H.** Hydration characteristics of portland cement after heat curing: II, Evolution of crystalline aluminate-bearing hydrates. J. Am. Ceram. Soc. Vol. 84, nº5, p. 1113-1119, 2001.