UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE MARABÁ
FACULDADE DE ENGENHARIA DE MATERIAIS

LÍVIA CRISTINA ARAÚJO ROCHA

COMPÓSITOS DE MATRIZ POLIÉSTER REFORÇADOS COM RESÍDUOS SIDERURGICOS DAS LIGAS FE-MN E FE-SI-MN: CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA

Marabá-Pa
2012

LÍVIA CRISTINA ARAÚJO ROCHA

COMPÓSITOS DE MATRIZ POLIÉSTER REFORÇADOS COM RESÍDUOS SIDERURGICOS DAS LIGAS FE-MN E FE-SI-MN: CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia de Materiais, da Universidade Federal do Pará, como requisito para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Materiais. Área de concentração: Compósitos Poliméricos. Orientador: Marcio Paulo de Araújo Mafra.

Marabá – Pará

2012

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

Biblioteca II da UFPA. CAMAR, Marabá, PA

Rocha, Lívia Cristina Araújo.

Compósitos de matriz poliéster reforçados com resíduos siderúrgicos da liga FE-MN e SI-MN: caracterização mecânica / Lívia Cristina Araújo Rocha; orientador, Márcio Paulo de Araújo Mafra. — 2011.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal do Pará, Campus Universitário de Marabá, Faculdade de Engenharia de Materiais, Marabá, 2011.

1. Compósitos poliméricos. 2. Poliésteres. 3. Usinas siderúrgicas. 4. Resíduos industriais. 5. Ligas de aço - Reaproveitamento. I. Mafra, Márcio Paulo de Araújo, orient. II. Título.

CDD: 21. ed.: 620.192

LIVIA CRISTINA ARAÚJO ROCHA

COMPÓSITOS DE MATRIZ POLIÉSTER REFORÇADOS COM RESÍDUOS SIDERURGICOS DAS LIGAS FE-MN E FE-SI-MN: CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia de Materiais, da Universidade Federal do Pará, como requisito para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Materiais. Área de concentração: Compósitos Poliméricos. Orientador: Marcio Paulo de Araújo Mafra.

Data de aprovação: ___ de _____ de _____.

Banca examinadora:

_____- Orientador

Prof. Esp. Márcio Paulo de Araújo Mafra – UFPA

_____ - Membro interno

Prof. M.Sc. Luis Fernando Nazaré Marques – UFPA

_____ - Membro interno

Prof. Dr Ednaldo Texeira – UFPA

Dedico à minha avó ***Maria Ester Araújo Rocha***, a minha mãe ***Francisca das Chagas Araújo Rocha***, aos meus tios ***Raimundo Oliveira Neto***, ***Maria do Livramento Araújo Rocha***, ***Maria do Socorro Araújo Rocha***, ***Avone José***, aos meus irmãos ***João Victor*** e ***Monica Monelly*****,** pelo apoio, incentivos, amor a mim concedido. Aos todos os primos principalmente a ***Ruth Nachara***, ***Leonardo Souza*** e ***Talita Mota Rocha.*** A ***FEMAT 07*** pelos momentos de muita diversão e alegria que compartilhamos. Ao **Magno Cardoso** pelo amor e dedicação.

Lívia Cristina Araújo Rocha

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pelo dom da vida e por ter me concedido força para viver longe da família e por ter me protegido nesses cinco anos em Marabá.

Á minha família, pelo apoio, dedicação, esforço, pela paciência, compressão e pelo amor incondicional.

A minha avó e mãe Maria Ester Araújo Rocha pelo amor e ensinamentos que me fizeram uma pessoa melhor.

Aos meus tios Raimundo Oliveira Neto e Maria do Livramento Araújo Rocha por terem me apoiado em busca dessa realização em minha vida.

A minha mãe Francisca da Chagas Araújo Rocha

A minha tia e madrinha Maria do Socorro Araújo Rocha por todo o amor e carinho me concedido

Aos meus irmãos queridos João Victor e Mônica Monelly pelo apoio e carinho.

A Francileide, Ruth Nachara e Leonardo que mesmo distante torcem por mim.

Ao meu namorado Magno Cardoso pela paciência e dedicação ao longo desses cinco anos.

Ao meu Prof. e amigo Euzébio Rodrigues pelo apoio e amizade.

Ao meu orientador Prof.: Msc Marcio Mafra pela dedicação ao orientar este trabalho.

Ao Prof. Msc Luis Fernando por me auxiliar nos ensaios.

Ao Prof. Romulo Simões Angelica (IG – UFPA) por ter feito a analise do meu material.

Ao Hammih Sá e a SINOBRAS por terem me ajudado com ensaio de dureza.

A Juliana Rodrigues por ter me ajudado com os ensaios e graficos.

A Barbara Thais que me ajudou muito na elaboração da parte experimental.

As minhas amigas Raimara Aguiar, Ana Luiza Coelho Braga, Rayane Elyara, Marcilene de Souza, que mesmo distantes sempre me deram força.

Aos meus amigos da FEMAT 2007, pelas brincadeiras, confraternizações e momentos inesquecíveis. Desejo sucesso a todos!

Ao meu grande amigo Milton Adalberto (eterno Miltinho) pela amizade, carinho e ajuda sempre e aos meus amigos Rodrigo Sampaio, Mario Eduardo, Luan Fernandes, Vinicius Paes, Cleyson Lameira, Neyvaldo Lopes, Rayson Wilber e Otiniel Vila Nova.

A Andrea Lima pela disposição em me ajudar com a formatação.

As minhas amigas Patrícia Lopes e Lilian Pinheiro, pelas horas de estudo e noites viradas às vésperas das provas. Sentirei saudades.

As minhas amigas Suelen Camargo e Ayla Jardania pelos momentos compartilhados.

A Micele Costa e Clarissa Leite pelo apoio nesses últimos dias.

A todos os meus amigos da UFPA que me ajudaram de forma direta ou indiretamente.

A Prefeitura Municipal de Parauapebas (PMP) e a Secretaria Municipal de Educação (SEMED) pelo apoio com a republica de Parauapebas.

A todos da Faculdade de Engenharia de Materiais (todos os professores, coordenador, técnicos, funcionários) que direto ou indiretamente contribuíram para minha formação. E em especial a técnica Tatiani.

A Universidade Federal do Pará pela formação em Engenharia de Materiais.

Jamais considere seus estudos como uma obrigação,
mas como uma oportunidade invejável
para aprender a conhecer a influência libertadora da beleza do reino do espírito,
para seu próprio prazer pessoal e
para proveito da comunidade à qual seu futuro trabalho pertencer.

Albert Einstein

RESUMO

A geração de resíduos siderúrgicos é uma grande preocupação nos dias atuais, uma vez que a sociedade está se conscientizando dos problemas que esses resíduos causam ao meio ambiente. Neste trabalho, foi estudado a viabilização da reciclagem de resíduos siderúrgicos da produção das ligas FeMn e FeSiMn na fabricação de materiais compósitos. Os compósitos foram processados sem compressão e reforçados com os resíduos siderúrgicos em matriz poliéster. Foram avaliadas as suas propriedades mecânicas através do ensaio de flexão e Microdureza Rockwell. Utilizaram-se as porcentagens 0, 20, 30, 40, 50, 60% em massa, comparando-os com resina pura. Os resultados mostraram uma resistência à flexão significativa e uma dureza Rockwell elevada.

Palavras-chaves: Compósitos, resíduo siderúrgico de FeMn e FeSiMn, poliéster.

ABSTRACT

The generation of waste steel is a major concern these days, given that society is becoming aware of the problems that cause the waste to the environment. In this work, we studied the feasibility of recycling waste steel production of FeMn alloys and FeSiMn in manufacturing composite materials. The composites were processed without compression and reinforced with waste steel and matrix resin. Were evaluated for their mechanical properties by testing flexural and Microhardness Rockwell. We used the percentages of 0, 20, 30, 40, 50, 60% by mass compared with the pure resin. The results showed a significant bending resistance and a high Rockwell hardness.

Keywords: composite, steel residue of FeMn and FeSiMn, polyester.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1– Gráfico de resistência mecânica versus módulo elástico de polímeros, cerâmicas e metais. 18
Figura 2 – Classificação dos materiais compósitos. 20
Figura 3 - Reservas de minério de manganês no Brasil e no mundo. 26
Figura 4 - Produção Mundial de concentrado de manganês. 26
Figura 5 - Fluxograma do processo. 28
Figura 6 - Fluxograma do processo “Escória Rica” de fabricação de FeMnAC. 29
Figura 7- Cadeia produtiva dos principais produtos a base de manganês. 31
Figura 8 - Exportações de Ferroligas a base de manganês. 32
Figura 9 - Aspecto das escórias FeSiMn e FeMn. 35
Figura 10 - Rolo usado para retirar bolhas na superfície 36
Figura 11 - Molde metálico utilizado para confecção das placas. 37
Figura 12 - Placas com diferentes porcentagens de RS de FeMn. 37
Figura 13 - Placas com diferentes porcentagens de RS de FeSiMn. 38
Figura 14 - Aspecto inferior das placas (a) FeMn; (b) FeSiMn. 38
Figura 15 – Dimensões do corpo de prova. 39
Figura 16 - Corpos de prova usinados para ensaios. 39
Figura 17 - Máquina de ensaio universal, utilizada para os ensaios de flexão. 41
Figura 18 - Resistência à flexão em função do teor de FeMn. 44
Figura 19 - Resistência à flexão em função do teor de SiMn. 44
Figura 20 - Gráfico módulo de elasticidade à flexão de FeMn. 45
Figura 21 - Gráfico Modulo de elasticidade à flexão de FeSiMn. 45
Figura 22 - Microdureza do compósito FeMn. 46
Figura 23 - Microdureza do compósito FeSiMn. 47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Minerais utilizados como carga e suas funções em materiais compósitos. 22
Tabela 2 - Comércio exterior de ferroligas a base de manganês. 32
Tabela 3 - Geração de coprodutos. 33
Tabela 4 - Frações em massa de carga. 36
Tabela 5 - Composição química dos RS de FeMn e FeSiMn. 42
Tabela 6 – Propriedades mecânicas dos compósitos com reforço FeMn. 43
Tabela 7 – Propriedades mecânicas dos compósitos com reforço FeSiMn. 43

LISTA DE ABREVIATURA E SÍMBOLOS

Al_2O_3	Óxido de aluminio
BaO	Óxido de Bário
C	Carbono
$CACO_3$	Carbonato de calcio
CaO	Óxido de Cálcio
CO	Monóxido de Carbono
CO_2	Dióxido de Carbono
DRX	Difratometria de raios-x
EVA	Etileno Acetato de Vinila
FE_2O_3	Óxido de ferro
FEA	Forno Elétrico a Arco
FEMN	Ferro Manganês
FEMNAC	Ferro Manganês Alto Carbono
FEMNBC	Ferro Manganês Baixo Carbono
FESIMN	Ferro Silico Manganês
FRX	Fluorescência de Raios-x
K2O	Óxido de potássio
MEK-P	METIL-ETIL-CETONA
MgO	Óxido de Magnésio
Mn	Manganês
MnO	Óxido de Manganês
Na_2O	Óxido de sódio
P_2O_5	Pentoxido de fosforo
SiO_2	Dióxido de silício
SiO_3	Silicato de sódio
SO_3	Óxido sulfúrico
RS	Rejeito siderurgico

TiO_2	Dióxido de titânio
$2CaO\text{-}SiO_2$	Silicato de dicalcio
$3CaO\text{-}SiO_2$	Silicato de tricalcio

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 15
2 OBJETIVOS 16
2.1 OBJETIVO GERAL 16
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 16
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 17
3.1 MATERIAIS COMPÓSITOS 17
3.2 MATRIZ POLIÉSTER 18
3.3 REFORÇO 19
3.3.1 Reforço particulado 21
3.3.2 Compósitos reforçados com partículas 21
3.4 RECICLAGEM DE RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS 23
3.4.1 Resíduo industrial como carga em compósitos 23
3.5 MINÉRIO DE MANGANÊS 24
3.5.1 Breve histórico 24
3.5.2 Reservas de manganês no Brasil e no mundo 25
3.5.3 Produção de Ferro-ligas a base de Manganês 27
3.5.3.1 Procedimentos adotados na produção de Ferroligas 27
3.5.3.2 Produção de ligas de FeMnAC 29
3.6 COMÉRCIO DE FERROLIGAS: IMPORTAÇÕES E EXPORTAÇÕES 31
3.7 GERAÇÃO DE ESCÓRIA 33
3.7.1 Algumas aplicações da escoria 33
4 METODOLOGIA 35
4.1 ORIGEM DOS MATERIAIS 35
4.1.2 Beneficiamento das escorias das ligas FeMn e FeSiMn 35
4.1.3 Processamento dos compósitos de poliéster e resíduo siderúrgico liga FeMn e FeSiMn 35
4.2 CONFECCÃO DAS PLACAS 36
4.3 CONFECÇÃO DOS CORPOS DE PROVA 39
4.4 ENSAIOS MECÂNICOS 39
4.4.1 Caracterização química do RS de FeMn e FeSiMn 40
4.4.2 Ensaio de flexão 40
4.4.3 Ensaio de microdureza 41

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES..... 42
5.1 RESULTADOS DA ANALISE QUÍMICA DO REJEITO SIDERÚRGICO DE FEMN E FESIMN 42
5.2 ENSAIO DE FLEXÃO..... 43
5.3 ENSAIO DE MICRODUREZA ROCKWELL 46
6 CONCLUSÃO 48
7 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS 49
8 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA..... 50

1 **INTRODUÇÃO**

Os Materiais Compósitos Poliméricos assumem um papel cada vez mais importante em quase todos os segmentos da indústria moderna, beneficiando a economia e colaborando para o progresso do país. A sua utilização tem sido, principalmente, na indústria aeronáutica e aeroespacial devido as suas propriedades particulares, gerando desenvolvimento de novos materiais, bem como novas técnicas de fabricação [1].

Muitas de nossas tecnologias modernas exigem materiais com combinações não usuais de propriedades, as quais não podem ser atendidas pelas ligas metálicas, cerâmicos e materiais poliméricos convencionais. Os compósitos estruturais são a junção de dois ou mais constituintes quimicamente diferentes e que apresentam uma interface separando-os. Esses materiais apresentam características mais apropriadas como resistência mecânica, rigidez, ductilidade, baixa densidade, capacidade de absorção de energia de deformação, resistência à abrasão e ao impacto. Propriedades melhores de que as de seus elementos separados [2,1].

A Indústria Siderúrgica encontra-se em constante crescimento, o que implica no aumento significativo do resíduo siderúrgico proveniente das diferentes etapas de produção de ligas e aços. Devido a grande preocupação ambiental, tem- se procurado alternativas para minimizar o impacto ambiental. A reciclagem é uma possível solução na tentativa de resolver o problema da geração desse resíduo [3].

Nos últimos três anos, o reaproveitamento de rejeito siderúrgico (RS) cresceu em 80%, gerando lucros para as empresas, que vendem, doam ou reciclam o resíduo. As principais destinações do RS estão sendo na produção do cimento, na pavimentação, agricultura, incorporação em materiais cerâmicos e em materiais poliméricos. Essas aplicações visam reduzir o impacto ambiental, elevar a qualidade do produto e uma redução no custo do produto final [3].

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo deste trabalho foi estudar a viabilidade técnica da utilização do Rejeito Siderúrgico das ligas Fe-Mn e Fe-Si-Mn, em diferentes percentuais, como carga mineral na produção de compósitos poliméricos.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar o potencial de utilização desta carga como alternativa de um novo compósito.
- Estudar as propriedades mecânicas (resistência a flexão e módulo de elasticidade) do compósito em questão por meio de ensaio de flexão.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 MATERIAIS COMPÓSITOS

O uso de compósitos como materiais de engenharia não é algo recente. A tecnologia dos materiais compósitos, especificamente a dos plásticos reforçados, teve um progresso significante no início dos anos 40, pois foi neste período que houve um grande crescimento de sua aplicação em elementos estruturais. Os compostos poliméricos podem ser obtidos, dentre outras maneiras, pela mistura mecânica dos componentes fundidos, ou através da dissolução dos componentes em solvente comum e posterior eliminação do solvente. Inúmeros tipos de materiais particulados, tais como carbonato de cálcio, talco, argila, e microesferas de vidro, têm sido largamente utilizados como carga de polímeros. A forma de partículas tem uma grande influência nas propriedades do compósito final [4].

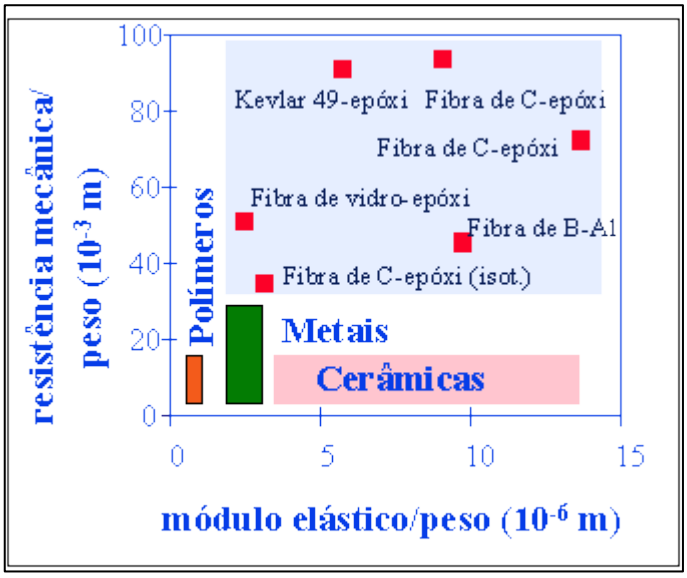
Materiais compósitos podem ser definidos como estruturas de reforço inseridas em uma matriz. São dois ou mais constituintes com distintas composições, estruturas e propriedades e que estão separados por uma interface. O objetivo principal em se produzir compósitos é de combinar diferentes materiais para produzir um único dispositivo com propriedades superiores às dos componentes unitários. Dessa forma, compósitos com finalidades ópticas, estruturais, elétricas, optoeletrônicas, químicas e outras, são facilmente encontrados em modernos dispositivos e sistemas [5].

O compósito é projetado de modo que as cargas mecânicas a que a estrutura está submetida no serviço sejam suportadas pelo reforço. Suas propriedades dependem da matriz, do reforço, e da camada limite entre os dois, chamada interface. Desta forma, há muitas variáveis a considerar ao projetar um compósito: o tipo de matriz (metálica, cerâmica e polimérica) o tipo de reforço (fibras ou partículas), suas proporções relativas, a geometria do reforço, método de cura e a natureza da interface. Cada uma destas variáveis deve ser cuidadosamente controlada a fim de produzir um material estrutural otimizado para as circunstâncias sob as quais será usado [6].

Durante os últimos 20 anos, um substancial desenvolvimento de compósitos para aplicações estruturais foi observado. A principal motivação desta

grande evolução foi a possibilidade de se produzir compósitos com altas propriedades mecânicas e baixas densidade que potencialmente poderiam substituir materiais usualmente utilizados como o aço e a madeira. A combinação de polímeros de alto desempenho com fibras cerâmicas ou poliméricas de alto módulo elástico e resistência mecânica, permitiu a produção de novos compósitos com um grupo de propriedades específicas (por unidade de peso) superiores ao aço, alumínio e outros. Esses compósitos apresentam em geral altas razões módulo/peso e resistência/peso superiores à de materiais cerâmicos, poliméricos e metálicos [5].

Figura 1– Gráfico de resistência mecânica versus módulo elástico de polímeros, cerâmicas e metais.



Fonte: Demet.

3.2 MATRIZ POLIÉSTER

Os Materiais Poliméricos tem sido usados pelo homem desde a antiguidade. Contudo, nessa época somente eram usados materiais poliméricos naturais. A síntese artificial de material polimérico é um processo que requer tecnologia sofisticada, pois envolve reações de química orgânica, ciência que só começou a ser denominada a partir da segunda metade do século XIX [7]. As resinas poliéster constituem uma família de polímeros de alto peso molecular, resultantes da condensação de ácidos carboxílicos com glicóis, classificando-se

como resinas saturadas e insaturadas, dependendo, especificamente, dos tipos de ácidos utilizados, que irão caracterizar o tipo de ligação entre átomos de carbono da cadeia molecular [8].

O nome poliéster é usado para descrever uma categoria de materiais obtidos geralmente por meio de uma reação de condensação entre um poliálcool e um ácido policarboxílico. Poliéster significa: poli (muitos, portanto muitos grupos ésteres); éster (é uma função química; um éster é obtido através da seguinte reação: ácido + álcool = éster + água). Os poliésteres estão entre os mais versáteis polímeros sintéticos conhecidos, pois podem ser encontrados comercialmente como fibras, plásticos, filmes e resinas. A sua síntese é muito comum e pode ser feita diretamente, através de esterificação, transesterificação e a reação de álcoois com cloretos de acilam ou anidridos. Dependendo da formulação inicial, pode-se obter um poliéster saturado ou insaturado [9].

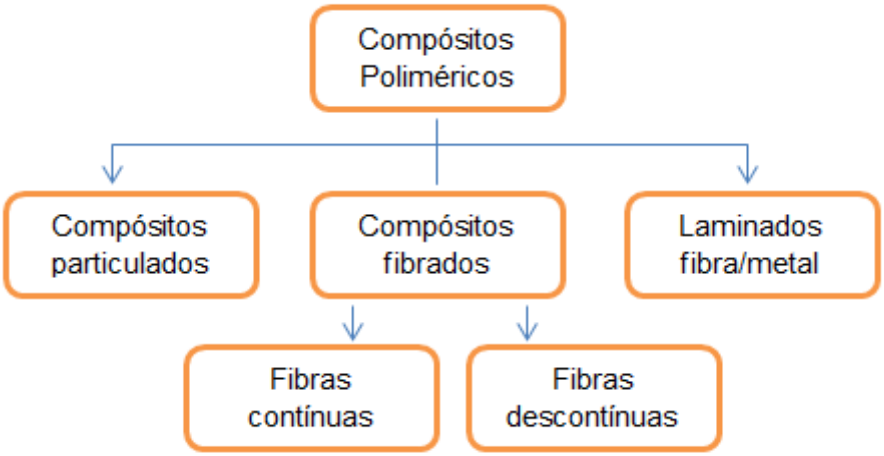
As resinas de poliésteres são utilizadas na fabricação de peças moldadas, com ou sem fibra de vidro, tais como: piscinas, barcos, banheiras, tanques, telhas, botões, bijuterias, assentos sanitários, moveis para jardim, massa plástica, mármore sintético, etc. Elas fazem parte de uma família diferente e complexa de resinas sintéticas, que são obtidas através de uma grande variedade de matérias primas como base [10]. O processo de cura da resina poliéster é iniciado com uma pequena porção de catalisador, como um peróxido orgânico ou um compósito alifático. A cura pode dar-se tanto em temperatura ambiente, quanto sob temperatura elevada e com ou sem aplicação de pressão [11]. Os poliésteres insaturados são bastante utilizados em conjunção com fibras de vidro para obter polímero reforçado que apresente excelentes propriedades mecânicas como a resistência à tração e ao impacto. Para peças industriais, menos solicitadas fisicamente, empregam-se sisal ou algodão como reforço. O emprego de poliéster com fibra de carbono e fibras de boro vem se desenvolvendo acentuadamente [12].

3.3 REFORÇO

Nos materiais compósitos, a resistência é bastante influenciada pela geometria e orientação do reforço, de modo que é conveniente fazer essa classificação baseada nesses aspectos. Os compósitos podem ser formados por

elementos de reforço particulados. Fibrosos ou fibra metal. Os compósitos particulados podem ser esféricos, cúbicos, tetragonais ou de qualquer outra forma regular ou irregular, mas quase sempre equiaxiais. Já os fibrados tem a fibra como elemento de reforço, a qual apresenta como característica o fato de possuir um comprimento muito maior que as dimensões da seção transversal. Requisitos de camadas isotrópicas levaram a construção de laminados fibra/metal, que associa as vantagens dos materiais metálicos e dos materiais compósitos [1].

Figura 2 – Classificação dos materiais compósitos.



Fonte: Autor, 2012

Podem ser considerados reforços desde cargas minerais, muitas vez incorporadas aos polímeros com o intuito de reduzir custos, até fibras de ultra alta resistência. As cargas minerais proporcionam um aumento na rigidez, dureza e algumas vezes, na resistência e temperatura de distorção térmica; os elastômeros proporcionam aumento na resistência ao impacto de matrizes poliméricas frágeis, as fibras, pelas suas características de elevada razão L/d, são os principais responsáveis pelo aumento de propriedades mecânicas dos compósitos [13].

Reforços podem ser classificados:

- Quanto à sua natureza:
- ✓ Resistentes à ruptura, para proporcionar elevada resistência à tração e ao cisalhamento;
- ✓ Duros, para promover o aumento da dureza e a resistência a abrasão;

- ✓ Rígidos, para incrementar o módulo elástico;
- ✓ Flexíveis, para aumentar a resistência ao impacto;
- ✓ Resistentes termicamente, para aumentar a estabilidade térmica.
- Quanto às características geométricas:
- ✓ Particulados;
- ✓ Laminados;
- ✓ Fibrosos

3.3.1 Reforço particulado

Os compósitos Particulados são constituídos por partículas de um ou mais materiais dispersos numa matriz de outro material, podendo ser não metálicos ou metálicos, nas suas varias possibilidades de combinação tem sido empregado na tecnologia aeroespacial.

3.3.2 Compósitos reforçados com partículas

Os compósitos reforçados com partículas apresentam, em sua maioria, uma fase particulada mais dura e mais rígida do que a matriz. As partículas de reforço tendem a restringir o movimento da fase matriz na vizinhança de cada partícula. Essencialmente, a matriz transfere parte da tensão aplicada às partículas as quais suportam uma fração de carga. O grau do reforço ou melhoria do comportamento mecânico depende de uma ligação forte na interface matriz – partícula. Para que ocorra um reforço eficaz, as partículas devem estar distribuídas uniformemente ao longo da matriz e as frações volumétricas das duas fases matriz e partículas são fundamentais para a determinação do comportamento mecânico [14]. Os compósitos particulados são resultantes da introdução de componentes que apresentam uma razão de aspecto (relação entre maior e a menor dimensão do corpo L/D) menor que três [15].

As cargas tendem a aumentar a viscosidade da resina e, geralmente, são misturadas a mesma junto com corantes e pigmentos. Outra utilidade das cargas é que, em quantidades adequadas, podem reduzir os efeitos da contração das resinas durante a cura [11]. As cargas inertes geralmente diminuem a resistência ao impacto e muitas vezes contribuem para a maior propagação de trincas,

diminuindo também a resistência à fadiga [16]. Por outro lado a presença de cargas pode melhorar algumas propriedades da matriz polimérica como, por exemplo, estabilidade dimensional, menor retração no resfriamento durante o processamento e maior temperatura de distorção térmica. Em algumas situações, as cargas são usadas para aumentar a condutividade elétrica do material polimérico. Compósitos poliméricos condutores de eletricidade são utilizados em inúmeras aplicações tecnológicas, tais como: tintas condutoras, dispositivos eletrônicos, eliminação de carga eletrostática em microeletrônica, sensores de pressão e blindagem eletromagnética [17].

Dentre as cargas não reforçantes, as mais utilizadas são as de origem mineral, pois as mesmas se incorporam à resina, proporcionando compatibilidade entre as características buscadas e o custo. As cargas minerais são usadas, principalmente, para substituir parte da resina e do reforço e assim reduzir o custo final. As principais cargas minerais usadas para essa finalidade são a calcita e a areia. A calcita não é inerte e só deve ser usada em peças para ambientes secos. Outras cargas, como talco, carbonato de cálcio precipitado e argila são também usadas. Contudo, por terem a granulometria muito fina, aumentam a viscosidade da resina e são usadas em teores muito baixos, reduzindo assim o interesse econômico [17].

A seguir, tem-se uma tabela com algumas cargas minerais utilizadas em compósitos, e suas principais funções:

Tabela 1- Minerais utilizados como carga e suas funções em materiais compósitos.

MINERAL	**RESINA PRINCIPAL**	**FUNÇÃO**
Alumina Hidratada	Poliéster	Anti-Chama
Calcita natural	PVC	Carga
$CaCO_3$ Precipitado	PVC	Resistência ao Impacto
Caulim (“Air Floated”)	Nylon	Tixotropia
Caulim Calcinado	Polipropileno	Resistência Elétrica
Quartzo Moído	Epoxy	Estabilidade Dimensional
Talco	Polipropileno	Rigidez

Fonte: ALMEIDA, G.M. 2010

O caulim, material que já é utilizado como reforço, apresenta resistência a flexão de até 1,95 MPa e modulo de elasticidade de aproximadamente 155,90 MPa.

3.4 RECICLAGEM DE RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS

Atualmente, há uma grande preocupação na reciclagem de resíduos industriais, e essa prática torna-se indispensável na preservação dos recursos naturais e impactos ambientais, tendo em vista que a redução de geração de resíduos, apesar de prioritária, é tecnicamente limitada. A principal fonte de degradação é a geração de resíduos. Os caminhos para minimizar os danos gerados pelos resíduos são: minimizar sua geração, reutiliza-los ou recicla-los.

A reciclagem é essencial, uma vez que é impossível pensar numa sociedade que não gere resíduos. Dentro deste contexto, a indústria da construção civil tornou-se a maior recicladora da economia, possuindo enorme potencial para aumentar o número de material que recicla em função da grande quantidade de material consumido [18].

A indústria siderúrgica gera uma enorme quantidade de resíduos sólidos durante seu processo produtivos. Destes resíduos, as escórias representam um volume de aproximadamente 80% do total de resíduos, gerados da produção de ligas e do aço [19]. Dessa forma, a necessidade de reciclar resíduos industriais tem motivado cada vez mais a investigação cientifica, através do desenvolvimento de aplicações adequadas aos mesmos. Soluções viáveis para esse rejeitos industriais: são incorporações em diversas aplicações como, por exemplo, na agricultura, na pavimentação, na incorporação em materiais cerâmicos, na adição a produtos cimenticios. Todas essas aplicações visam favorecer o meio ambiente [3].

3.4.1 Resíduo industrial como carga em compósitos

Há vários estudos no que diz respeito à incorporação de resíduos em materiais compósitos, proporcionando a expansão de sua utilização em vários segmentos da indústria. A seguir alguns tipos de resíduos utilizados como carga em materiais compósitos.

Um dos estudos encontrados utilizou-se resíduo de EVA (Etileno Acetato de Vinila) oriundos da indústria calçadista como agregado para concreto leve na

construção civil [20]. A partir de estudos, desenvolveu-se um tipo de bloco que permite associar leveza à função de vedação, com boas condições de fabricação e manuseio, conseguindo atingir o valor mínimo de resistência à compressão para esta aplicação, que é de 2,5 MPa [21]. Em outro estudo, resíduos de EVA foram utilizados como reforço em composições elastoméricas. Com base nos ensaios de tração, chegou-se a conclusão que o mesmo atua como carga de enchimento na matriz e, sobretudo, sem grande prejuízo das propriedades mecânicas [22].

Outro estudo mostra a utilização de cargas minerais em materiais industriais alternativos, tendo como uma das principais vantagens, a redução de custo benefício. Em estudo anterior, analisou-se a introdução de diatomita, como carga, no processo de transformação do polietileno. Ensaios mecânicos, em temperatura ambiente, mostraram que a adição em até 20% de diatomita não provocou redução da resistência a tração do material [23].

Em outra linha de pesquisa, um estudo entre concretos poliméricos fabricados com areia pura e areia servida (rejeito de fundições) foi realizado, no sentido de dar um destino útil e ecologicamente correto para este rejeito [24]. Foi verificado que a contaminação presente na areia servida contribui de forma discreta, mas positiva, na resistência à flexão e na tenacidade da fratura. Em outro trabalho, a influência do tipo de resina e da adição de cinza volante nas propriedades do concreto polimérico foi considerada [25]. Foram testadas resinas de poliéster ortoftálica com adição de cinza volante, variando de 8% a 20%. Foi verificado, que tanto o tipo de resina, quanto o percentual de cinza volante têm grande influência no módulo de elasticidade do compósito.

3.5 MINÉRIO DE MANGANÊS

3.5.1 Breve histórico

O minério de manganês é um dos primeiros minérios com produção regular no Brasil, sua produção data do século XIX e, no começo do século XX era o principal produto de exportação. Estudos comprovam que sua primeira utilização foi na forma de dióxido de manganês, usado como pigmento para pintar cavernas

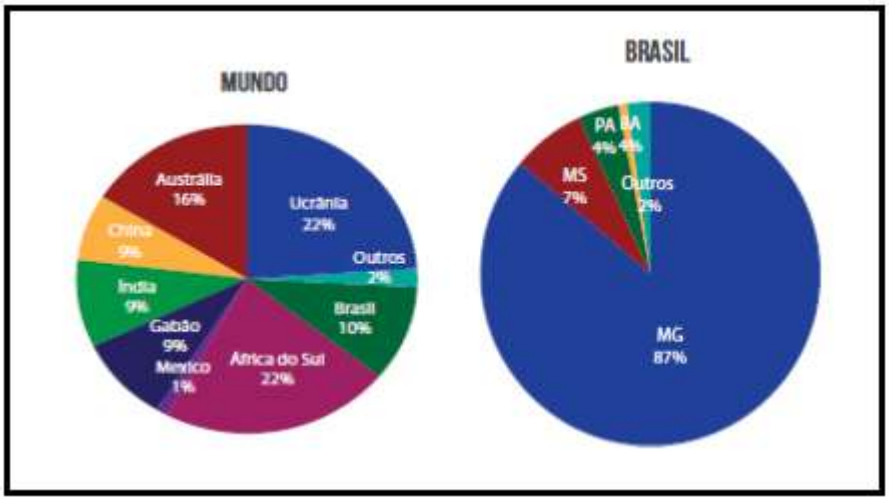
no período paleolítico, há 17.000 anos. Os romanos e os egípcios usaram para descobrir o vidro. Em 1808, cientistas britânicos e franceses começaram a considerar o uso do manganês na produção do aço, anos depois um investigador alemão observou que o manganês aumentava a dureza do ferro sem reduzir sua maleabilidade. Depois vieram à produção de ferro-manganês com 80% de manganês num cadinho, produção de manganês metálico e como desoxidante. Em 1866, Willian Siemens patenteou o uso do ferro-manganês na produção do aço como controlador dos níveis de enxofre [26].

Característica importante do minério de manganês é que o minério é essencial para a produção do aço, onde é usado como agente dessulfurante e desoxidante. O uso de minério de manganês é feito na forma natural com adição no alto forno gusa e com adição nos fornos para produção de ferro ligas a base de manganês. As ferro ligas posteriormente são consumidas na indústria siderúrgica em praticamente todos os tipos de aço e em ferros fundidos, devido à sua propriedade dessulfurante [27].

3.5.2 Reservas de manganês no Brasil e no mundo

As reservas mundiais estão concentradas em seis países, que juntos detém mais de 90% das reservas. O Brasil detém a quarta maior reserva do mundo, equivalente a 10% do total, ficando atrás apenas da Ucrânia (24%), África do Sul (22%) e Austrália (16%). O Brasil é o maior produtor de minério de manganês, ficando atrás somente da China, embora Minas Gerais detenha 87%, o Pará é o maior produtor brasileiro de minério de manganês. A Vale é a maior produtora nacional, sendo responsável por cerca de 70% do manganês produzido no Brasil, seguida pela Mineração Buritirama, responsável por cerca de 25%. O manganês é o quarto metal mais utilizado no mundo depois do ferro, alumínio e cobre. O setor de ferro ligas/siderurgia consome cerca de 90% da produção de manganês, seguido pela produção de pilhas e vitaminas [28].

Figura 3 - Reservas de minério de manganês no Brasil e no mundo.



Fonte: DNPM Mineral Commodity Summaries 2011.

O mercado nacional de manganês é dominado pelas empresas do grupo VALE, que são a Urucum Mineração em Mato Grosso do Sul e a RDM (Rio Doce Manganês) que detém a Mina do Azul no Pará, e a Mineração Buritirama, que possui lavra no estado do Pará. A produção brasileira de minério de manganês vem mantendo-se em 2 º lugar no *ranking* mundial desde o ano de 2001, no ano de 2008 a produção nacional chegou a 2,4 milhões de toneladas. Apesar da concentração da produção de minério de manganês encontrar-se, principalmente, entre as empresas do grupo VALE e da Mineração Buritirama, existem outras empresas de menor porte produtoras no território nacional [29].

.

Figura 4 - Produção Mundial de concentrado de manganês.

Fonte: DNPM; USGS; Mineral Commodity Summaries 2011.

3.5.3 Produção de ferroligas à base de Manganês

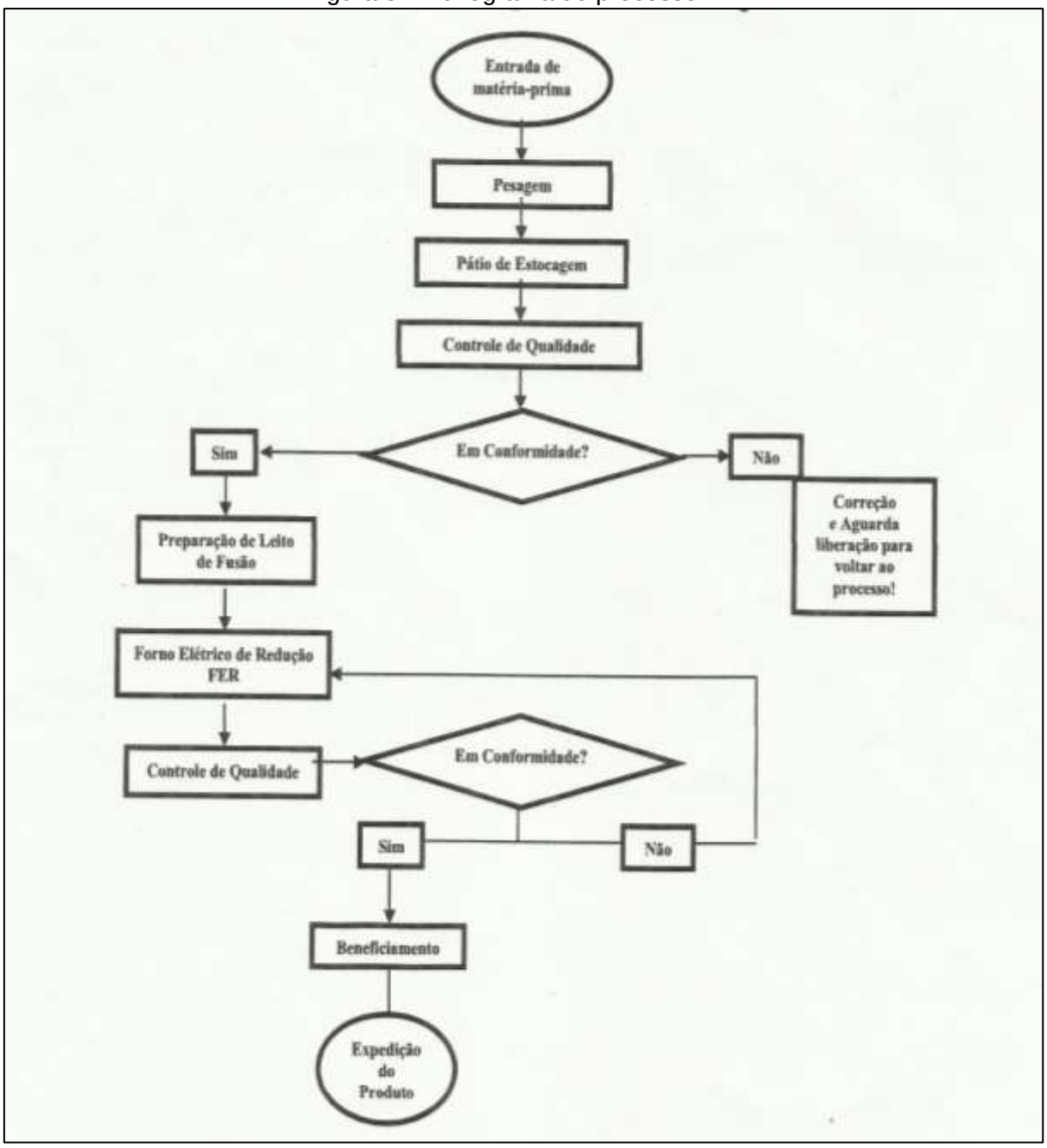
3.5.3.1 Procedimentos adotados na produção de Ferroligas

O processo de produção de ferroligas inicia-se com a chegada e pesagem das matérias-primas no pátio, e especial atenção deve ser dada a estocagem, uma vez que a umidade e contaminantes podem interferir no rendimento do processo. Esses insumos passam por um controle de qualidade e em seguida são armazenados em silos que alimentarão o forno elétrico de redução (FER). Com o intensivo uso de energia elétrica, que por efeito joule gera calor necessário à redução das matérias – primas, os ferroligas são processados no interior do forno e em intervalos de tempo pré-estabelecidos, a liga e a escória são esgotados do forno através de um furo, denominado “furo de corrida”, situado no cadinho.

A produção de ferroligas, tradicionalmente usa fornos elétricos a arco trifásico, visando obter a redução do minério, e consequentemente, a liga. O processo de produção de ferroligas é eletro-intensivo, com elevada participação da energia elétrica no aquecimento da carga dos fornos visando obter a temperatura necessária para que as reações químicas possam ocorrer [30].

A ligas a base de manganês apresentam-se de três formas FeMnAC, FeMnBC e FeSiMn. A seguir segue um fluxograma mostrando as etapas de produção das ligas.

Figura 5 - Fluxograma do processo.



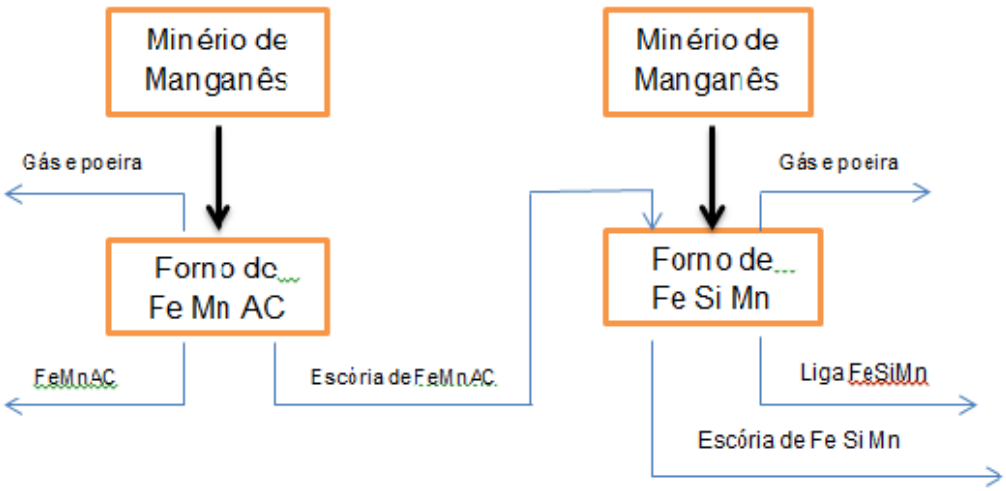
Fonte: Lameira, 2011.

3.5.3.2 Produção de ligas de FeMnAC

Na produção de FeMnAC, as misturas devem conter alta relação manganês/ferro (superiores a 7), além disso essas misturas devem conter suficiente sílica para formar escória com óxido de manganês e, suficiente alumina para assegurar uma produção eficiente de FeSiMn, com teor mais alto de Si e menos C, a partir da escória. Deve-se procurar teores baixos de P, e outras impurezas, de forma a não exceder os limites especificados de cada liga.

Existem dois processos para a produção do FeMnAC. Um é o processo Escória Pobre que é utilizado somente em circunstâncias especiais, normalmente quando os minérios existentes não permitem produzir pela outra via, ou seja, pelo Processo Escória Rica. No processo Escória Pobre a escória gerada é básica, possui baixo teor de manganês (MnO < 20%) e é descartada. O processo Escória Rica apresenta menor consumo de energia e redutor, sendo necessários minérios com teor mais elevados de manganês (mais caro). Entretanto, o custo global é menor, já que a escória gerada é de natureza ácida, apresentando altos teores de Mn (superiores a 40%), sendo utilizada para a produção de FeSiMn. Além disso, a escória rica possui baixíssimo teor de fósforo, o que representa uma vantagem para a produção de FeSiMn [31].

Figura 6 - Fluxograma do processo “Escória Rica” de fabricação de FeMnAC.



Fonte: Lameira, 2011.

Dentro dos fornos, o principal responsável pela redução do óxido de manganês é o monóxido de carbono. As principais reações do processo são apresentadas pelas equações 1 e 2.

$$MnO_{(S)} + CO_{(G)} \rightarrow Mn_{(L)} + CO_{2(G)} \quad (1)$$

$$CO_{2(G)} + C \rightarrow 2\ CO_{(G)} \quad (2)$$

3.5.3.3 Produção da FeSiMn

O ferro silico manganês pode ser produzido no forno elétrico basicamente por dois métodos diferentes:

I. Fusão redutora de uma mistura de minério de manganês e/ou sínter e quartzito.
II. Fusão redutora de uma mistura de escória da produção de ferro manganês alto carbono, eventualmente com escória da produção de ferro manganês médio carbono, minério de manganês e/ou sínter, e quartizito.

A diferença fundamental entre um método e outro está no fato de que o consumo específico da energia seria elevado e a recuperação de manganês seria mais baixa, quando o ferro sílico manganês fosse produzido a partir de escórias ou misturas de escórias com minério. Isto ocorre porque as escórias contém menos manganês e este se encontra nela na forma de silicatos estáveis. Com a crescente demanda de silico manganês pelos aciaristas nos últimos anos, geralmente não há dificuldades em utilizar a produção total de escória de ferro manganês na fabricação de silico manganês [32].

A inclusão de escória de FeMnAC na carga aumenta a sua porosidade, melhorando a permeabilidade da carga ao fluxo de gases e aumentando a eficiência de trocas térmicas gás-sólidos. Além disso, a quantidade de finos gerados é menor. As principais equações do processo são:

$$MnO_{(S)} + CO_{(G)} \rightarrow Mn_{(L)} + CO_{2(G)} \quad (3)$$

$$SiO_2 + 2\ CO \rightarrow Si + 2CO_{2(G)} \quad (4)$$

$$CO_{2(G)} + C \rightarrow 2\ CO_{(G)} \quad (5)$$

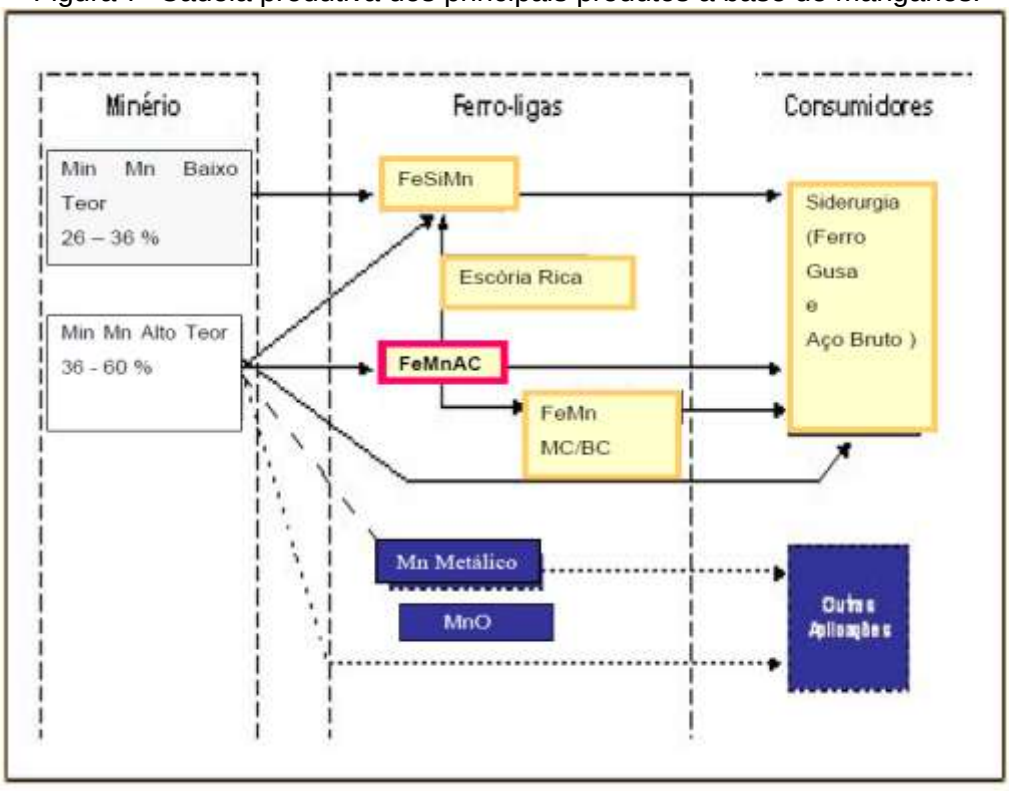
Somando as equações (3) e (5) e as equações e as equações (4) e (5), chega-se as equações (6) e (7) respectivamente.

$$MnO + C \rightarrow Mn + CO_{(G)} \quad (6)$$

$$SiO_2 + 2C \rightarrow Si + CO_{(G)} \quad (7)$$

Essas são as duas equações que podem representar basicamente as reações entre metal, escória e fase gasosa na produção do FeSiMn. Esse processo ocorre à temperaturas superiores às de produção de FeMnAC. Apenas nas proximidades de 1600ºC se verifica o equilíbrio entre metal (FeSiMn) e escória [33].

Figura 7- Cadeia produtiva dos principais produtos a base de manganês.



Fonte: VALE

3.6 COMÉRCIO DE FERROLIGAS: IMPORTAÇÕES E EXPORTAÇÕES

O comércio de ferroligas à base de manganês tem tido um desempenho na balança comercial brasileira, apesar de em 2008 ter tido uma pequena redução,

pois no mencionado ano a venda deste produto ao mercado externo atingiu a marca de, praticamente, US$ 102 milhões de dólares, contra US$ 114 milhões registrados em 2007, apontando uma redução da ordem de 10%. O saldo da balança comercial das ferroligas à base de manganês mostra que este item vem tendo desempenho positivo no período 1995/2008, da mesma forma como o minério de manganês [29].

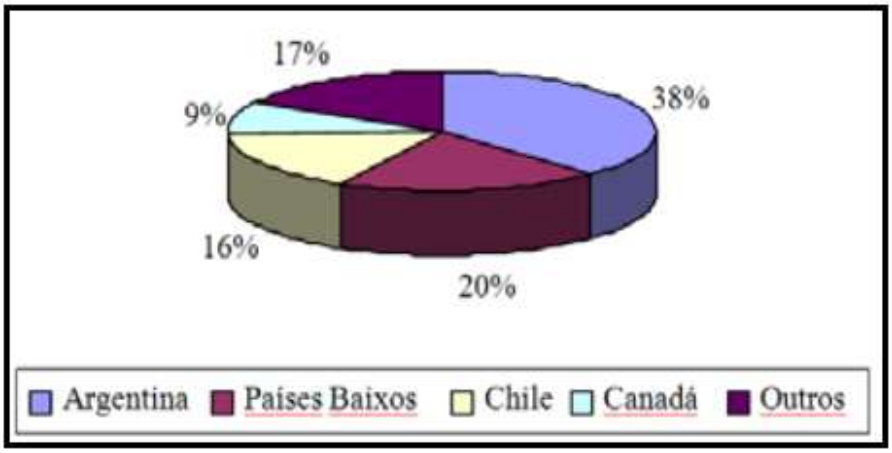
Tabela 2 - Comércio exterior de ferroligas a base de manganês.

Anos	EXPORTAÇÃO (A)		IMPORTAÇÃO (B)		SALDO (A-B)	
	Quantidade (10^3t)	Valor US$ FOB (10^3t)	Quantidade (10^3t)	Valor US$ FOB (10^3t)	Quantidade (10^3t)	Valor US$ FOB (10^3t)
1995	86,22	39.988,00	15,10	7.457,00	71,12	32.531,00
1996	178,91	88.860,00	17,69	9.673,00	161,22	79.187,00
1997	146,68	65.625,00	12,36	6.079,00	134,32	59.546,00
1998	69,63	31.052,00	13,15	6.449,00	56,48	24.603,00
1999	81,96	32.510,00	28,98	11.373,00	52,98	21.137,00
2000	133,42	57.939,00	8,06	4.003,00	125,36	53.936,00
2001	87,83	37.242,00	27,99	13.816,00	59,84	23.426,00
2002	146,64	63.271,00	14,07	7.813,00	132,57	55.458,00
2003	175,67	79.549,00	16,05	10.376,00	159,62	69.173,00
2004	154,96	139.437,00	18,92	19.278,00	136,04	120.159,00
2005	175,34	122.673,00	22,09	25.199,00	153,25	97.474,00
2006	126,52	90.755,00	26,21	27.021,00	100,31	63.734,00
2007	102,11	114.883,00	39,45	49.455,00	62,66	65.428,00
2008(p)	92,05	101.793,00	35,78	44.381,00	56,27	57.412,00

Fonte: SECEX/MDIC – DNPM; Unidade103t; (p) Dados Preliminares.

O destino das exportações dos bens primários de minério de manganês está assim distribuído: França (35%), Chipre (21%), China (11%), Estados Unidos (10%) e outros (23%). As ferroligas à base de manganês tiveram como principal destino os países localizados na América do Sul.

Figura 8 - Exportações de Ferroligas a base de manganês.



Fonte: SECEX/MDIC

3.7 GERAÇÃO DE ESCÓRIA

A escória é o principal resíduo sólido gerado nos processos metalúrgicos e tem como composição básica óxidos metálicos e não metálicos. A escória do forno elétrico a arco (FEA) utilizada neste trabalho, é gerada do processo de produção das ligas FeMn e FeSiMn. Segundo o IBS, para cada tonelada de aço produzido, resultam em cerca de 600 kg de coproduto [3]. A tabela abaixo aponta alguns dados de geração de coprodutos de uma siderúrgica no município de Marabá.

Tabela 3 - Geração de coprodutos.

PRODUÇÃO (TON)		
Ano	**2010**	**2011**
Alto-forno	118.479	120.471
Aciaria	240.023	243.050
GERAÇÃO DE CO-PRODUTO		
Escória de Alto Forno	23.677	24.167
Escória de Aciaria	35.950	36.503

Fonte: Sinobrás.

A geração de resíduo é a principal fonte de prejuízos ao meio ambiente. A transformação de um resíduo em um subproduto é uma forma inteligente de se reduzir o consumo energético na produção de novos produtos, além de favorecer a dispersão de compostos contaminantes. Dentro deste contexto, a indústria siderúrgica ocupa papel de destaque, uma vez que, movimenta grandes volumes de matéria-prima e energia, impactando o meio-ambiente de forma efetiva [34].

3.7.1 Algumas aplicações da escória

A escória pode ser utilizada em diversos campos de aplicação, tais como agricultura, fabricação de cimento, construção civil, ferrovias e rodovias e seu uso apresenta vantagens sobre os materiais que pode substituir. Os grãos de escoria apresentam maior resistência à derrapagem e ao desgaste superficial devido à sua forma e textura, são trituráveis e apresentam melhor trabalhabilidade e capacidade quando comparados com grãos de outros agregados. Dentre as aplicações dadas podemos destacar [35].

- Estabilização dos solos: devido às características como elevada rugosidade superficial, bom índice de forma, maior resistência ao desgaste e aumento da resistência dos solos. Tal utilização é limitada pelo potencial expansivo das escórias.
- Matéria-prima para a produção de cimento: devido à presença dos silicatos de dicálcio e tricálcico ($2CaO\text{-}SiO_2$ e $3CaO\text{-}SiO_2$) que torna a composição química do material muito semelhante a do clínquer formado na produção do cimento Portland. Entre as vantagens encontradas neste emprego de escória pode-se citar: diminuição do calor para a formação do clínquer e redução da emissão de gases poluentes, como o gás carbônico.
- Agregado na produção de concreto: devido à alta resistência à compressão e durabilidade à abrasão. Adição de escória em concreto resulta em um aprimoramento de propriedades mecânicas – resistência à tração na flexão. Além disso, há redução do consumo de cimento para a produção de concreto com escoria.
- Infraestrutura rodoviária: a escória pode ser utiliza em base e sub-base de pavimentos como agregado na confecção de misturas asfálticas. Tal resíduo é usado mais frequentemente em camadas inferiores do que como agregado em revestimentos.

4 METODOLOGIA

4.1 ORIGEM DOS MATERIAIS

Para a confecção do compósito, foi utilizada como matriz polimérica uma resina poliéster insaturada GAMA 313, fabricada pela Embrapol, do tipo ortoftálica pré-acelerada, adquirida no comércio local. Utilizou-se como catalisador o Peróxido de Metil-Etil-Cetona (MEK-P) em concentração de 1% em peso. O resíduo industrial utilizado foram as escórias das Liga FeMn e FeSiMn oriunda da FERMAR (Industria de Ferroligas de Marabá), siderúrgica localizada no pólo industrial de Marabá.

4.1.2 Beneficiamento das escórias das ligas FeMn e FeSiMn

As escórias foram britadas em um britador de mandíbulas, depois peneiradas em um conjunto de peneiras, sendo, em seguida, moídas em um moinho de bolas. Depois de moídas foram peneiradas novamente, utilizando-se, por fim, as partículas que passaram na peneira de 100 mesh.

Figura 9 - Aspecto das escórias FeSiMn e FeMn.

Fonte: Autor, 2012.

4.1.3 Processamento dos compósitos de poliéster e resíduo siderúrgico da liga FeMn e FeSiMn

O processamento do compósito foi realizado por meio de moldagem sem compressão. Para a preparação do experimento pesou-se todos os materiais e fez-se a mistura da resina + RS + catalisador, buscando se em cada placa preparada um percentual menor a ser adicionado de resina + catalisador, numa quantidade suficiente para não comprometer o escoamento da mistura no molde. Desta forma as frações de cargas dos RS de FeMn e FeSiMn, utilizadas nas confecções das placas foram determinadas.

Tabela 4 - Frações em massa de carga.

Placas	% massa de RS FeMn	% massa de RS FeSiMn
1ª	0	0
2ª	20	20
3ª	30	30
4ª	40	40
5ª	50	50
6ª	60	60

Fonte: Autor, 2012.

4.2 CONFECÇÃO DAS PLACAS

As placas de compósitos foram feitas misturando-se manualmente a resina com o rejeito siderúrgico e o catalisador MEK-P até que uma massa homogênea fosse obtida, utilizando-se um molde de aço (Figura 11) composto de base e tampa com dimensões de 200 x 150 x 3 mm, no mesmo, foi aplicado desmoldante a base de cebo de carneiro na superfície do molde para facilitar a desmoldagem das placas. A mistura resina/rejeito foi colocada no molde, e foi utilizado um rolo (Figura 10) que era passado na superfície da mistura com objetivo de diminuir as bolhas na superfície, quando a mistura estava próxima ao ponto de gelificação (quando o material começa a solidificar) o molde foi fechado e pressionado manualmente e deixado em temperatura ambiente, após 24 horas o molde foi aberto e a placa desmoldada.

Figura 10 - Rolo usado para retirar bolhas na superfície

Fonte: Autor, 2012.

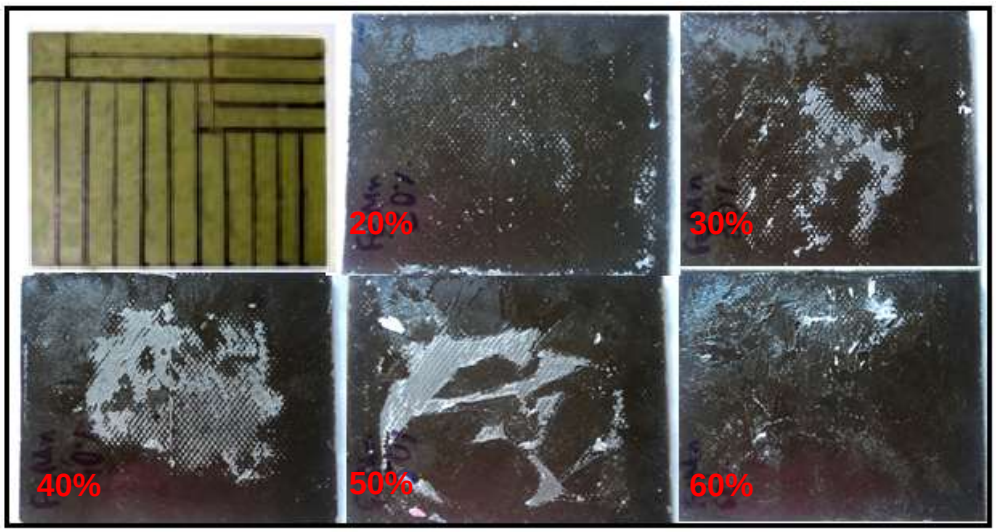
Figura 11 - Molde metálico utilizado para confecção das placas.

Fonte: Autor, 2012.

As placas foram submetidas a pós-cura por 72 horas a 70ºC, para posterior usinagem dos corpos de prova.

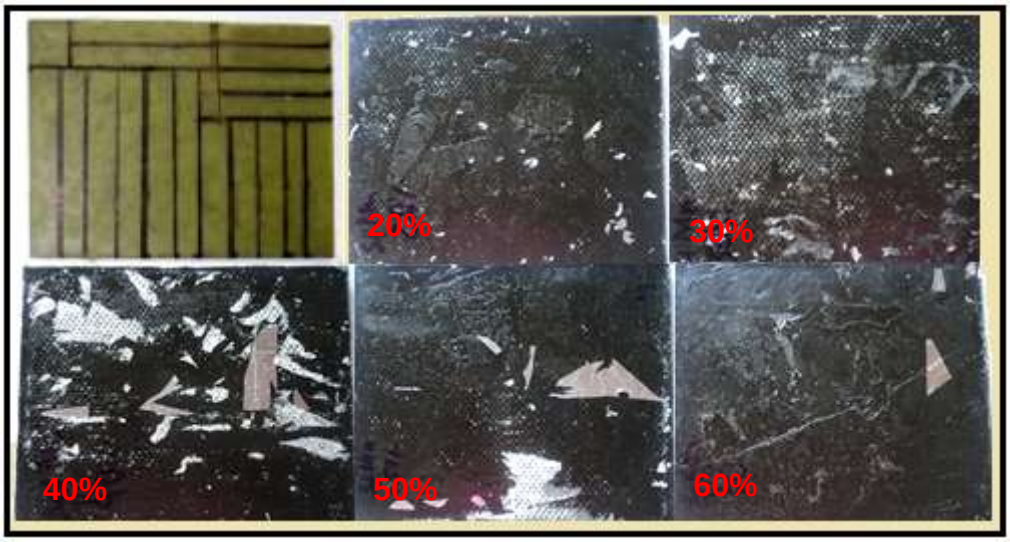
Foram feitas cinco placas de cada tipo de rejeito, com porcentagens diferentes de RS de FeMn e FeSiMn, e uma sem rejeito para a comparação de dados. As placas já moldadas não mostraram imperfeições, na superfície superior, mas algumas imperfeições, como poros, na parte superfície inferior em algumas placas. Essas falhas podem ser devido à concentração de partículas no fundo. As figuras a seguir mostram placas obtidas em diferentes composições.

Figura 12 - Placas com diferentes porcentagens de RS de FeMn.



Fonte: Autor, 2012.

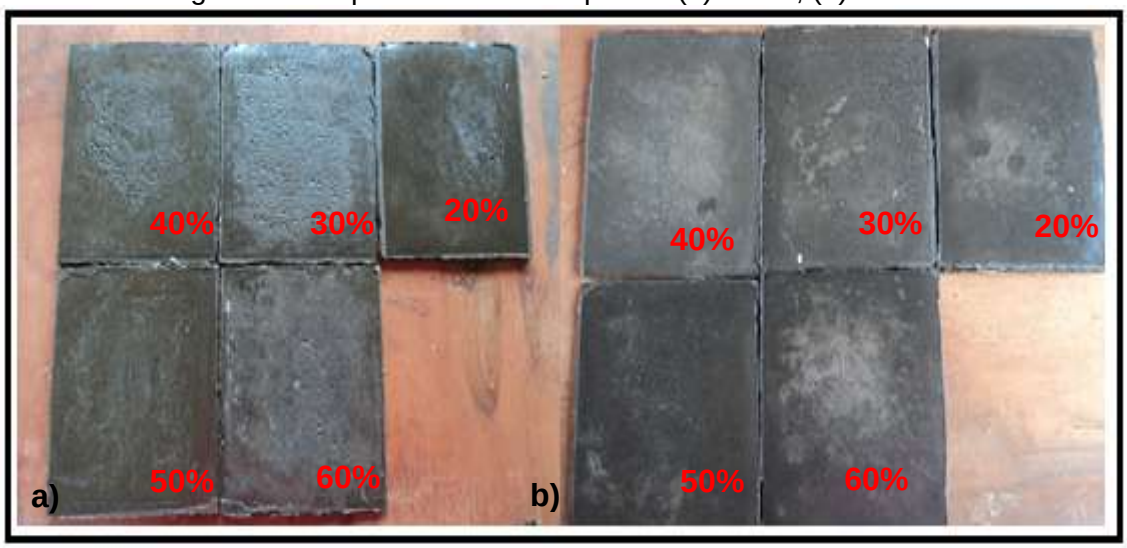
Figura 13 - Placas com diferentes porcentagens de RS de FeSiMn.



Fonte: Autor, 2012.

Os poros apareceram principalmente nas placas de composição FeMn, nas porcentagens de 30%, 40% e 60%, essas podem ser causadas pelas expansão do RS já que o mesmo tem um potencial expansivo muito alto. Nas placas de composição FeSiMn, o número de defeitos foi bem menor, o maior número encontrou-se na placa de 30% em peso.

Figura 14 - Aspecto inferior das placas (a) FeMn; (b) FeSiMn.

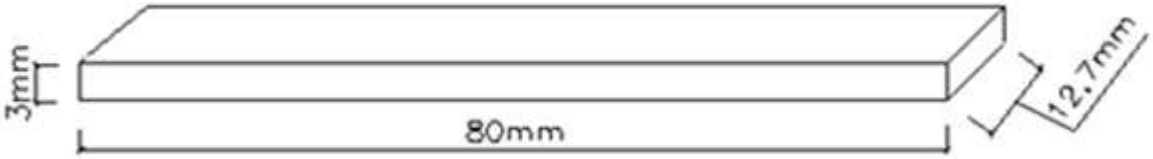


Fonte: Autor, 2012.

4.3 CONFECÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

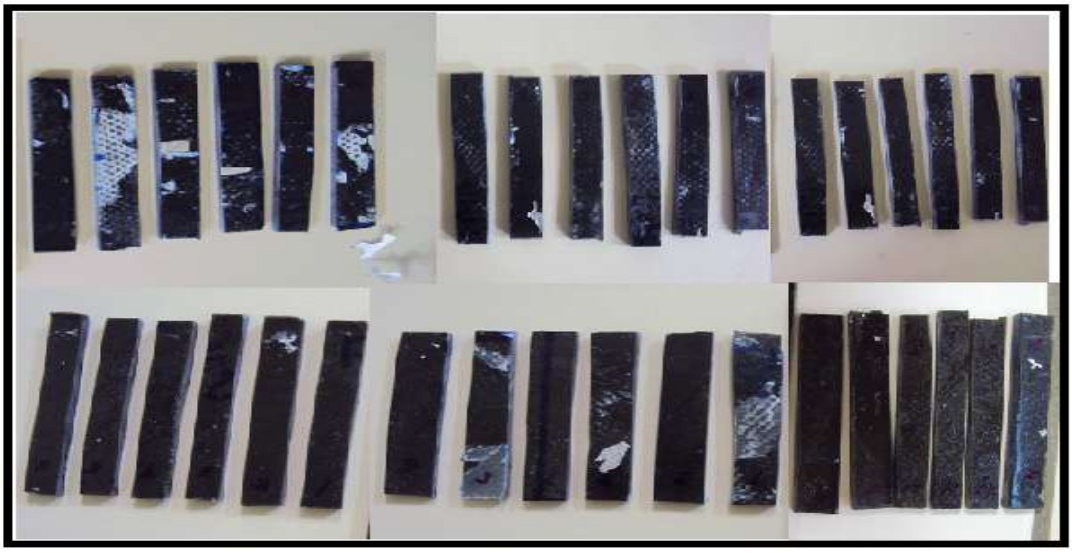
As placas foram cortadas em uma máquina de corte para ferro modelo Condor 250 trifasico, pois as mesmas tem uma dureza alta, na forma de corpos de prova para os ensaios mecânicos de flexão, passaram por um processo de desgaste e acerto dimensional, seis corpos de provas de cada amostra foram utilizadas para os ensaios. As dimensões dos corpos de prova recomendadas pela Norma ASTM D790 para o ensaio de flexão são de 12,7 x 80 x 3 mm (largura, comprimento e espessura respectivamente).

Figura 15 – Dimensões do corpo de prova.



Fonte: Norma ASTM D790,1995.

Figura 16 - Corpos de prova usinados para ensaios.



Fonte: Autor, 2012.

4.4 ENSAIOS MECÂNICOS

Para avaliação da influência dos rejeitos da liga FeMn e FeSiMn nas propriedades mecânicas foram realizados ensaios mecânicos de flexão, dureza

Rockwell e uma analise química do rejeito por Difratometria de Raios-x (DRX) e Espectrometria de Fluorescência de Raios- x (FRX).

4.4.1 Caracterização química do RS de FeMn e FeSiMn

A análise química foi interessante para que fosse possível determinar a composição da matéria – prima utilizada no trabalho, fornecendo os percentuais de óxidos presentes. Desta forma, a caracterização foi realizada a partir das técnicas de Difratometria de Raios-X (DRX), onde as amostras foram pulverizadas em gral de ágata em granulometria compatível e preenchidas em porta amostra específicas para a análise, foi usado um Difratômetro de raios-x modelo X´PERT PRO MPD (PW 3040/60).

Na Espectrometria de Fluorescência de Raio-X a determinação da composição química da amostra foi realizada utilizando espectrômetro WDS sequencial, modelo Axios Minerals da marca PANalytical. A amostra foi analisada no modo de preparação disco fundido: 1 g de amostra + 6 g de fundente (Tetraborato de Lítio - $Li_2B_4O_7$), mistura fundida a 1000 °C por 10 min. A Perda ao Fogo (PF) foi determinada com a queima a 1000 ºC, após secagem a 105 ºC. As aquisições e tratamento dos dados foram realizados através do software SuperQ Manager da PANalytical.

4.4.2 Ensaio de flexão

O ensaio de flexão foi conduzido em máquina Universal EMIC DL 20 KN, através do método de três pontos. Os ensaios foram realizados em temperatura ambiente, seguindo recomendações da Norma ASTM D 790[36]. Os ensaios foram realizados para determinação do modulo de elasticidade e limite de resistência dos compósitos. Foram utilizadas seis amostras para cada tipo de porcentagem, aplicando-se uma velocidade de 1 mm/min.

Figura 17 - Máquina de ensaio universal, utilizada para os ensaios de flexão.

Fonte: Autor.

4.4.3 Ensaio de microdureza

O ensaio de Microdureza Rockwell foi realizado com a finalidade de determinar a dureza do compósito em questão. Foi utilizado um corpo de prova de cada porcentagem para realização do ensaio, os mesmos utilizados no ensaio de flexão. As indentações foram feitas em um microdutômetro digital PROCEQ, modelo EQUOTIP 3, com dispositivo de impacto D, com uma pré-carga de 10N e a final de 50 N. Foram realizadas seis endentações de maneira aleatória no perfil.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.

5.1 RESULTADOS DA ANÁLISE QUÍMICA DO REJEITO SIDERÚRGICO DE FEMN E FESIMN

Estes resultados apresentados na tabela abaixo foram obtidos através dos métodos de Difratometria de Raios-X e Fluorescência de Raios-X, realizados no Instituto de Geologia da UFPA-Belém.

Tabela 5 - Composição química dos RS de FeMn e FeSiMn.

Óxidos	Concentração (%)	Óxidos	Concentração (%)
Al_2O_3	18,45	**Al_2O_3**	18,32
BaO	3,24	**BaO**	2,83
CaO	0,93	**CaO**	1,03
Fe_2O_3	1,95	**Fe_2O_3**	1,78
K_2O	3,34	**K_2O**	3,26
MgO	0,95	**MgO**	0,90
MnO	44.30	**MnO**	26,55
Na_2O	0,23	**Na_2O**	0,17
P_2O_5	0,05	**P_2O_5**	0,06
SO_3	0,13	**SO_3**	0,05
SiO_2	25,63	**SiO_2**	44,54
TiO_2	0,69	**TiO_2**	0,49

Fonte: Autor, 2012.

De acordo com o resultado da análise, pode-se notar que as escórias de FeMn e FeSiMn tem os mesmos constituintes mas com concentrações diferentes. A escória de FeMn tem como principal constituinte MnO e elevadas concentrações de SiO_2 e Al_2O_3.

A escória de FeSiMn tem como principal constituinte o SiO_2 e concentrações elevadas de MnO e Al_2O_3. Vale ressaltar que o elevado teor de silício, eleva a dureza, resistência mecânica. Nas duas amostras também há concentrações de BaO e Fe_2O_3.

5.2 ENSAIO DE FLEXÃO

Nas tabelas 6 e 7 estão reunidos os dados do ensaio de flexão para as onze placas de compósitos desenvolvidos. Os dados das tabelas a seguir foram dispostos em gráficos para uma melhor compreensão dos resultados obtidos.

Tabela 6 – Propriedades mecânicas dos compósitos com reforço FeMn.

Carga	Res. à flexão (MPa)	Desv. Padrão	Mod. de elasticidade (MPa)	Desv Padrão
Sem carga	1,0	0,9	15,6	2,56
FeMn 20	1,27	0,11	69,39	10,87
FeMn 30	1,08	0,17	77,94	14,79
FeMn 40	1,13	0,16	55,67	9,91
FeMn 50	1,36	0,68	46,58	4,83
FeMn 60	1,11	0,11	52,79	6,97

Fonte: Autor, 2012

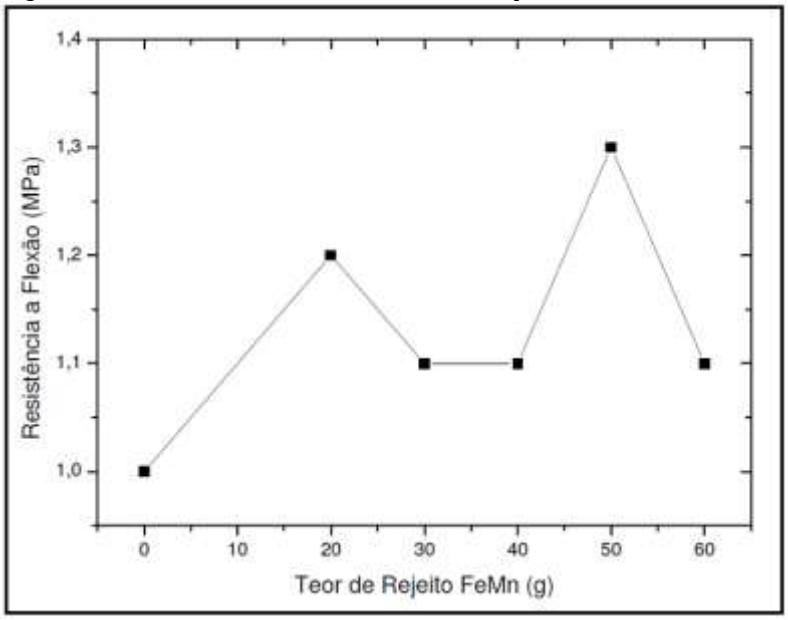
Tabela 7 – Propriedades mecânicas dos compósitos com reforço FeSiMn.

Carga	Res. à flexão (MPa)	Desv. Padrão	Mod. de elasticidade (MPa)	Desv Padrão
Sem carga	1,0	0,9	15,6	2,56
FeSiMn 20	1,25	0,06	63,17	8,19
FeSiMn 30	1,26	0,14	68,84	18,28
FeSiMn 40	1,34	0,11	62,16	10,67
FeSiMn 50	1,14	0,11	64,40	18,77
FeSiMn 60	1,51	0,38	79,21	12,42

Fonte: Autor, 2012

No ensaio de flexão as propriedades interessantes são a resistência à flexão e o módulo de elasticidade à flexão. No caso da resistência a flexão, observou-se que houve um aumento significativo em relação à resina pura. Os compósitos reforçados com 30, 40 e 60% em massa de rejeito de FeMn tiveram uma redução no limite de resistência, chegando a 1,1 MPa. Os poros que se localizam na superfície das placas podem agir como concentradores de tensões reduzindo as propriedades do compósito. Essa redução da resistência poder ter sido causada por defeitos introduzidos na usinagem dos corpos de prova.

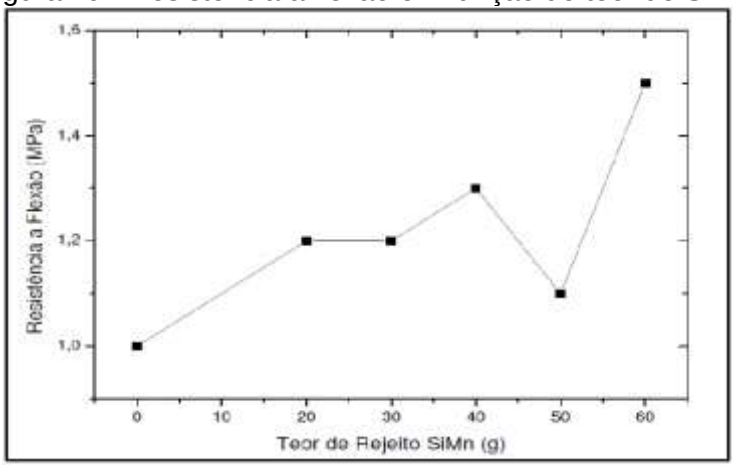
Figura 18 - Resistência à flexão em função do teor de FeMn.



Fonte: Autor, 2012.

No compósito com rejeito de FeSiMn, também foi possível observar um aumento na resistência à flexão em relação à resina pura, porém o compósito com 50% em massa de rejeito de FeSiMn apresentou uma resistência a flexão de 1,1 MPa causado por defeitos superficiais na placa e, também, por que a partícula pode atuar como agentes nucleadores de trincas e assim contribuir para a redução da resistência mecânica. A adição de 60% em peso de FeSiMn aumentou em 1,5MPa a resistência a flexão do material, isso pode ser explicado pelo aumento no número de barreiras para movimentação de discordâncias.

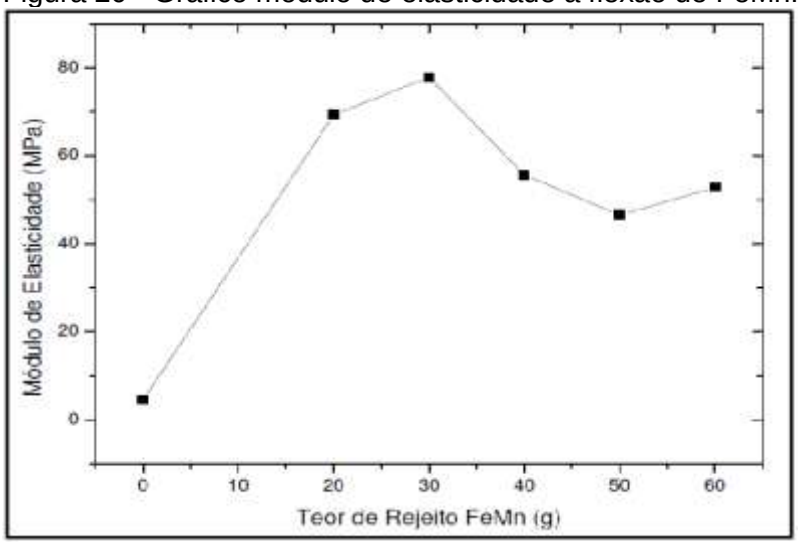
Figura 19 - Resistência à flexão em função do teor de SiMn.



Fonte: Autor, 2012.

O modulo elástico dos compósitos apresentou um crescimento significativo em relação à resina pura nos compósitos de 20 e 30%, como pode ser observado na Figura 20, que chegou próximo a 80 MPa, mas esse percentual caiu em mais de 20% nos compósitos com 40, 50 e 60% em massa. Os vazios na superfície contribuíram para esse decréscimo no módulo de elasticidade.

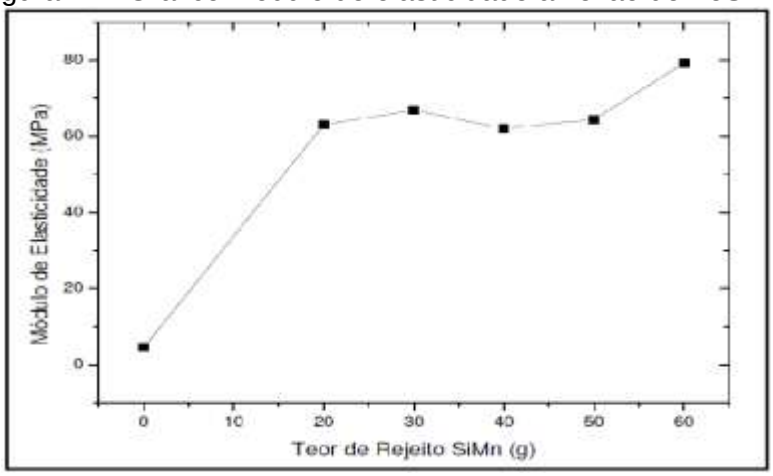
Figura 20 - Gráfico módulo de elasticidade à flexão de FeMn.



Fonte: Autor, 2012.

Os módulos de elasticidade para os compósitos reforçados com FeSiMn apresentaram resultados bem significativos a medida que se aumentou o percentual adicionado, no percentual de 20% chegou a 65 MPa e 80 MPa para o percentual de 60%, comparado-se com o percentual da resina pura o aumento do modulo de elasticidades chegou a 55% para os compósito com 20% em massa de FeSiMn e 70% para compósitos com 60%.

Figura 21 - Gráfico Modulo de elasticidade à flexão de FeSiMn.



Fonte: Autor, 2012.

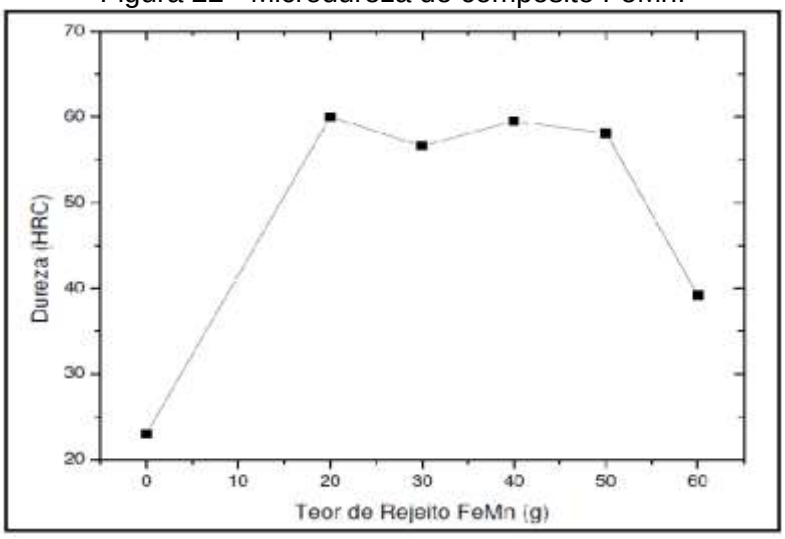
.

Os resultados obtidos a partir dos ensaios mecânicos de flexão permitem sugerir que a adição dos rejeitos de FeMn e FeSiMn na forma de particulado fino melhora a rigidez dos materiais em relação ao polímero puro. O que poderá ser confirmado com o ensaio de dureza dos compósitos.

5.3 ENSAIO DE MICRODUREZA ROCKWELL

Os valores encontrados no ensaio de microdureza Rockwell podem ser considerados satisfatórios se comparados aos da matriz sem reforço, por terem apresentado uma diferença significante entre as matrizes. Na figura 22, foi possível observar esse aumento da dureza nas porcentagens de 20, 30, 40 e 50% em massa de rejeito de FeMn, ou seja, quanto maior a quantidade de rejeito de FeMn maior a dureza. No compósito com 60% em massa observou-se que houve um aumento da resistência mecânica quando comparado com a resina pura, mas não tão significante quanto os outros compósitos.

Figura 22 - Microdureza do compósito FeMn.

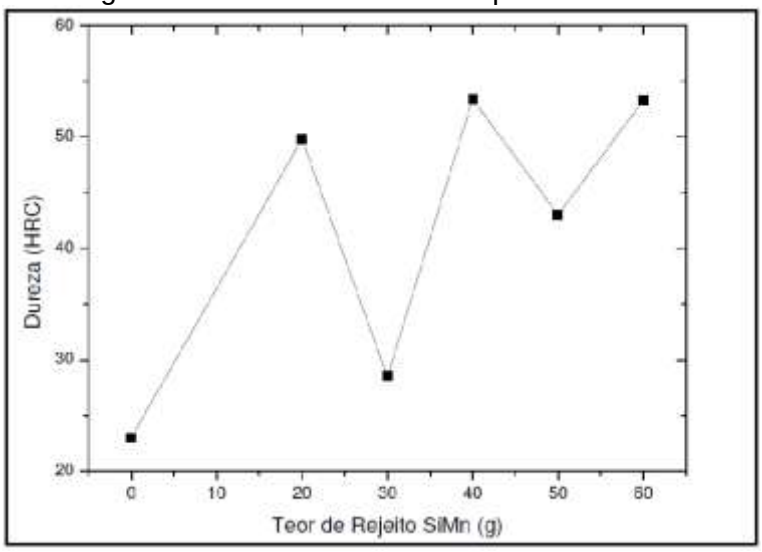


Fonte: Autor, 2012.

No compósito de FeSiMn, também observou-se que quanto maior a porcentagem de rejeito maior a dureza, mas nos compósitos com 30 e 50% a dureza diminuiu em relação as outras porcentagens em massa de rejeito, sendo que a redução foi mais significativa no compósito com 30% (28,5 HC) em massa.

Nas porcentagens de 40 e 60% obtiveram a maior dureza (53,4 e 53,3 HC), respectivamente.

Figura 23 - Microdureza do compósito FeSiMn.



Fonte: Autor, 2012.

Em geral, observou-se que houve um aumento significativo de dureza em relação à matriz sem reforço. Porém, elevadas durezas implicam em boa resistência ao desgaste, entretanto, acarretam maior dificuldade na usinagem.

6 CONCLUSÃO

O estudo sobre a resistência mecânica de compósitos reforçado com diferentes percentuais de massa de rejeitos siderúrgicos de FeMn e FeSiMn em matriz poliéster evidencia que:

A adição de 20% em massa de rejeito de FeMn como reforço ao poliéster proporcionou melhor desempenho quanto às propriedades de flexão e microdureza Rockwell.

Quanto ao compósito reforçado com rejeito de FeSiMn, a adição de 60% em massa proporcionou melhor desempenho as propriedades de flexão e microdureza. Isso pode ser explicado pelo fato de o rejeito obter silício e o mesmo aumentar a dureza e a resistência mecânica.

Os compósitos reforçados com os rejeitos apresentaram um aumento na dureza, quando comparados com o poliéster puro.

Os compósitos tiveram aumento da rigidez em relação à resina pura, mas não foi um aumento significativo, devido o grande numero de vazios na superfície de alguns dos compósitos processados, principalmente nos reforçados com o rejeito de FeMn.

Para os compósitos processados, sugere-se a utilização em aplicações onde seja necessária elevada dureza superficial.

Os compósitos processados, o que se utilizou resíduo de FeSiMn, percebeu-se melhor desempenho nas sua propriedades, principalmente em 60% em peso do resíduo. O compósito também apresentou poucos defeitos superficiais, tornando se mais viável o seu aproveitamento.

7 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

Realização do ensaio de tração, além de ensaios de impacto e absorção seguindo os procedimentos, mas utilizando por moldagem a compressão fazendo comparação mais precisa dos resultados.

Desenvolver compósitos híbridos, isto é, compósitos reforçados simultaneamente com rejeito de FeMn e FeSiMn e reforço vegetal.

8 REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

[1] MARINUCCI, Gerson. **Materiais compósitos poliméricos.** 1 ed São Paulo: Artibler, 2011.

[2] CALLISTER, JR; William D. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução.** 7 ed. Rio de Janerio: LTC, 2008.

[3] IBS – Instituto Brasileiro de Siderurgia, **Relatório de Sustentabilidade.** 2008 e 2012.

[4] DOS SANTOS, E. A. **Avaliação mecânica e microestrutural de compósitos de matriz poliéster com adição de cargas minerais e resíduos industriais.** 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade do Rio Grande do Norte, Natal, 2007.

[5] DISPONÍVEL em www.demet.ufmg.br/docentes/rodrigo/compósitos.html acessado em 11/10/12.

[6] GIBSON, R.F. **Principles of composite material mechanics.** 1 ed. New York, Mc Graw Hill, 1994.

[7] DISPONÍVEL em www.gorni.eng.br/ist_pol.html acessado em 13/10/12.

[8] MILES, D.C; Buston, J.H. **Tecnologia dos polimeros.** Editora da Universidade de São Paulo. P 80-81,1975.

[9] MUSEU DO PLÁSTICO. Resina. Disponível em : http://www.sandreto.it/musemmuseo/PORTGHESE/bplasti.htm acesso em: 15 de setembro.2012.

[10] MENDONÇA, P.T.R. **Materiais compostos e estrutura sanduiche: Projeto e analise**. Barueri, São Paulo: Manoel, 2005.

[11] MANO, E.B. **Introdução a polimeros.** Edigard Bluches, 2 ed. São Paulo, 1986.

[12] NOBREGA, M.M.S. **Compósitos de matriz poliéster com fibras de Caroá Neoglaziovia Varregata: caracterização mecânica e sorção de água.** Tese de doutorado em Engenharia de Processos, Universidade Federal de Campina Grande, 2007.

[13] CALLISTER. W.D. **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma introdução**; LTC – Livros técnicos científicos. 5 ed. Rio de Janeiro, 2002.

[14] DANIEL, I.M; ISHAI, O. **Engineering mechanics of composite materials.** Dissertation (Master thesis) Victoria University of technology, Melboume, 1993.

[15] ZHU, W.H. **Utilisation of banana fibre in composite materials.** Dissertation (Master Thesis) Victoria University of techonogy, Melboume, 1993.

[16] CHAWLA. K.K, Composite Materials – Science and Engineering, 2nd Ed. Springuer, 1998.

[17] CARGAS MINERAIS: Disponivel em www.comercialfiberglass.com.br. Acessado em 13 de setembro de 2012.

[18] JHON, V. M. **Cimentos de escória ativada com silicatos de sódio: Construção e desenvolvimento sustentável.** Tese de doutorado. Escola Politecnica de São Paulo. São Paulo, 1995.

[19] DOS SANTOS JR, E.L; Intorne, S.C; Dias, D.P; Vieira, C.M.F; Monteiro, S.N. **Incorporação de escoria de aciaria em cerâmica vermelha.** 49º Congresso Brasileiro de Cerâmica, 2005. Anais do 49º Congresso Brasileiro de Cerâmica, 2005- São Pedro – SP.

[20] GARLET, G**. Aproveitamento de resíduos de EVA. (Ethylene Vinyl Acetate) como agregado para concreto leve na indústria da construção civil** – Porto Alegre,1998, 14p. Dissertação de Mestrado – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

[21] BEZERRA, A.J.V. **Utilização do resíduo da indústria de calçados (EVA – etileno acetato de vinila) como agregado leve na produção de blocos vazados de concreto pra alvenaria sem função estrutural.** Dissertação de mestrado, UFPB/CCT, 2002.

[22] OLIVEIRA, M.G; VIRGOLINO, M.M.; GOMES, A.C.O.; SOARES, B.C.; MOREIRA, V.X. **Caracterização das propriedades reológicas e dinâmicas de composições de borracha natural com resíduo de EVA.** Disponível em www.scielo.br/pdf/v14n5/23061:pdf

[23] SILVA, F.E.L.; MARTINELI, A.E.; MELO, D.M.A; MELO, M.A.F; NASCIMENTO, R.M; CARVALHO, L.M . **Avaliação Microestrutural mecânica de compósito polipropileno – diatomita. In: XVI Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais**, 2004. Porto Alegre. Anais do XVI Congresso Brasileiro de Engenharia e Cisnecia dos Materiais, 2004.

[24] SOUZA, L M.; REIS, J.M.L; FERREIRA A.J.M. **Characterization of Polymer Concrete made with recycled aggregate.** Demegi, Portugal.

[25] GORNINSKI, J.P.; MOLIN, D.C.D.; KAZMIERCZAK, C.S. **Study of the modulus of elasticity of polymer concrete compounds and comparative assessment of polymer concrete an Portland cement concrete.** Pergamon, Brasil, 2004.

[26] PANORAMA GERAL DO MANGANÊS - Disponível em www.maxwell.lambda.puc-rio.br/11024/11024-5pdf acessado em 25/09/12.

[27] MINISTERIO DE MINAS E ENERGIA-MME. Secretaria de Geologia, mineração e transformação mineral –SGM – **Relatório técnico 19. Perfil de mineração de manganês.** Disponível em www.sinextra.or.br, acessado em 25 de setembro de12.

[28] ABRAFE. **Anuário das Industrias das Brasileiras de Ferroligas e de Silício Metálico.** Associação Brasileiras Ferroligas. ABRAFE, 2004.

[29] MANGANÊS – Departamento Nacional de Produção Mineral – disponível em www.dpnm.gov.gr/assets/galeriadocumento/...manganes.pdf. Acessado em 25 de setembro de 12.

[30] LAMEIRA, Cleyson de Paula Torres. **Controle do processo de produção de ferroligas de manganês em indústria siderúrgica.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal do Pará, Marabá, 2011.

[32] LUCIO, A. **Metalurgia dos ferroligas vol.11.** Universidade Federal de Minas Gerais.

[33] DING, W. & OLSEN, S.E**. Manganese and Silicon Distribution between Slag and Metal in Silicomangene Production.** ISIJ International. Vol. 40, 2000.

[34] MASUERO, A.; VILELA, A.; DAL MOLIN, D. **Emprego de escorias de aciaria elétrica como adição a concretos.** DNPM: Mineral Commodity. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre – RS.

[35] BRANCO, V. **Caracterização de misturas asfálticas com uso de escoria de aciaria como agregado.** Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro – RJ, 2004.

[36] AMERICA SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (2005) **Standards Test Methods for Flexural Properties of Unreinforceid and Reinforced Plastics and Eletrical Insulasting Materials.** ASTM D790.