

The page features a decorative graphic consisting of three blue circles of varying sizes, each with a lighter blue ring around its center. These circles are arranged along a diagonal line that runs from the top-left towards the bottom-right. The circles are positioned in the upper right and lower right areas of the page.

Trabalho de Conclusão de Curso

Gilda Moreira de Almeida

COMPÓSITOS DE MATRIZ POLIÉSTER REFORÇADOS COM
RESÍDUOS PROVENIENTE DO BENEFICIAMENTO DE
COBRE: CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA

Almeida, G.M.
25/08/2010



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

GILDA MOREIRA DE ALMEIDA

COMPÓSITOS DE MATRIZ POLIÉSTER REFORÇADOS
COM RESÍDUOS PROVENIENTE DO BENEFICIAMENTO
DE COBRE: CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA

Marabá – Pará
2010

GILDA MOREIRA DE ALMEIDA

COMPÓSITOS DE MATRIZ POLIÉSTER REFORÇADOS
COM RESÍDUOS PROVENIENTE DO BENEFICIAMENTO
DE COBRE: CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia de Materiais da Universidade Federal do Pará como requisito para obtenção grau de Bacharel em Engenharia de Materiais/Ênfase em Compósitos Poliméricos. Orientado pelo Prof. Dr. Múcio Marcos S. Nóbrega.

Marabá – Pará
2010

A Deus, ao meu pai, meus irmãos e sobrinhos. Aos amigos pela compreensão em todos os momentos. *In memoriam* da minha mãe Waldeci: o que eu mais queria, era poder abraçá-la para comemorarmos junta essa nossa vitória.

AGRADECIMENTOS

Todos que passam em nossas vidas, de alguma forma, nos ensinam. Ensinamentos que, às vezes aparentemente simples, ajudam na nossa formação. Pela observação das pessoas ao nosso redor percebemos suas características e muitas vezes ressaltamos seus defeitos. Entretanto, nos concentra em aprender com suas qualidades certamente é mais recompensador. Na busca constante pelo aperfeiçoamento como ser humano, cada um contribui e vem contribuindo. A estes, meu reconhecimento como forma de exaltação às suas principais qualidades.

A Deus certamente a única presença em todos os momentos.

Aos meus pais que contribuíram para minha formação humana e profissional, e estiveram sempre presentes em minha vida.

Aos meus irmãos Rosilda, Rosania e Reginaldo pela força, incentivo e compreensão em diversos momentos.

Aos meus sobrinhos Eric, Kaian e Kainan pelo carinho.

Ao Mauro pelo carinho e dedicação.

Aos meus cunhados Edvan e Célio pelo apoio e compreensão.

Aos amigos Elaine, Ana Cássia, Elza e Cleison pelo grande auxílio e força nesta caminhada.

A professora Maricely pelo seu tratamento sempre atencioso,

A Universidade Federal do Pará por proporcionar a oportunidade de realizar este curso.

Ao orientador Prof. Dr. Múcio Marcos S. Nóbrega que ensinou os caminhos da pesquisa.

A todos os docentes do Curso de Engenharia de Materiais pela colaboração em nossa formação acadêmica.

A turma de Engenharia de Materiais/2005 pelo companheirismo, amizade e os inesquecíveis momentos vividos.

A todos de minha família, amigos e funcionários desta instituição que de alguma forma contribuíram para o meu sucesso e realização deste trabalho.

Ao Geanso pela sua disponibilidade na realização dos ensaios.

Aos que, pela presa, não foram citados minhas desculpas e sincero agradecimento.

GILDA MOREIRA DE ALMEIDA

FOLHA DE APROVAÇÃO

Após a exposição da discente Gilda Moreira de Almeida a Banca Examinadora composta pelos professores abaixo, reuniu-se e aprovou o presente Trabalho de Conclusão de Curso (TCC), intitulado “Compósitos de Matriz Poliéster Reforçados com Resíduos Provenientes do Beneficiamento de Cobre: Caracterização Mecânica”, por atender aos requisitos estabelecidos é atribuído o conceito **EXCELENTE**.


Prof. Dr. Múcio Marcos S. Nóbrega
Orientador


Prof. M.Sc. Márcio Paulo de Araújo Mafra
Avaliador


Prof. M.Sc. Clesianu Rodrigues Lima
Avaliador

Aprender é a única coisa
de que a mente nunca se cansa,
nunca tem medo
e nunca se arrepende.

Leonardo da Vinci

RESUMO

A preocupação com o grave problema da geração de resíduos vem, cada vez mais, despertando na sociedade a conscientização da necessidade de realização de estudos com vistas a melhorar o ciclo de produção e adequar a destinação dos resíduos gerados. Nesta pesquisa, é estudada a possibilidade de reciclagem da escória de cobre na fabricação de compósito. Foram processados via compressão, compósitos constituídos por resíduos de cobre e poliéster insaturado. Foram avaliadas suas propriedades mecânicas de resistência à tração, flexão e microdureza vickers. Nesse sentido, utilizou-se 0, 10, 20, 40, 55 e 65% em massa de resíduo. Resultados preliminares indicaram baixa resistência a tração quando comparado ao poliéster puro, os compósitos apresentaram um aumento significativo no módulo de flexão e microdureza vickers com a adição da carga.

Palavras-chave: compósitos, resíduos de cobre, poliéster.

ABSTRACT

The worry about problem serious of generation of wastes is coming, more and more, waking up in society aware about necessity of fulfillment studies in view of to improve the cycle of production and to right destination of waste generated. In this research, is studied the possibility of recycling of supproduct of copper in the manufacture of composite. Were filed tract reducl, composite constituto by waste of copper and composite polyester. Valued its properties mechanics of strenght by pulling, push-up and microdureza vickers. Int this sense, was used 0, 10, 20, 40, 55 and 65% mass of waste. Preliminaries results showed resistance low attract when compared when pure polyester, compounds presented a significant rise in the module of push-up and microdureza vickers with addition of loading.

Key-words: Compound, waste of copper, polyester.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Desafio para o setor de construção civil, segundo a pesquisa da CERF, Escala relativa (a partir de JOHN, 2000).....	27
Figura 2- Reserva de cobre Mina do Sossego.....	34
Figura 3- Reservas brasileiras de Cobre por Estado (2008).....	35
Figura 4- Reservas brasileiras de Cobre Empresas (2008).....	35
Figura 5- Mina do Sossego.....	37
Figura 6- Participação das empresas na produção de Cu-concentrado, em 2008.....	38
Figura 7- Cobre: Principais segmentos industriais demandantes.....	39
Figura 8- Maiores geradores de escória de cobre, no mundo (SINDICEL, 2000).....	46
Figura 9- Geração de escória de cobre no Brasil.....	47
Figura 10- Barragem de rejeito mina do sossego.....	47
Figura 11- Aspectos do rejeito de cobre.....	50
Figura 12- Sequencia do procedimento de mistura do compósito e de fabricação dos corpos de prova baseado em (OWENS CORNING, 2001 e 2004; SAINT-GOBAIN, 2004).....	52
Figura 13- Molde metálico utilizado para confecção dos compósitos.	52
Figura 14- Placas de compósitos com diferentes teores de rejeito.....	53

Figura 15- Corpos de prova. A) resina pura; B) amostra 10%; C) amostra 20%; D) amostra 40%; E) amostra 55%; F) amostra 65% de rejeito de cobre.....	54
Figura 16- Resistência à tração dos compósitos em função do teor de Rejeito de Cobre.....	57
Figura 17- Módulo de Young do compósito em função do teor de rejeito de Cobre.....	58
Figura 18- Alongamento na ruptura dos compósitos em função do teor de rejeito de Cobre.....	58
Figura 19- Resistência a Flexão dos compósitos em função do teor de rejeito de cobre.....	59
Figura 20- Módulo de Elasticidade compósito em função do teor de rejeito de Cobre.....	60
Figura 21- Microdureza dos compósitos em função do teor de rejeito de cobre.....	61

LISTA DE TABELA

Tabela 1-	Minerais e suas funções em compósitos poliméricos.....	19
Tabela 2-	Propriedades relevantes de matrizes.....	21
Tabela 3-	Tipos de resina poliéster insaturado.....	23
Tabela 4-	Evolução das reservas brasileiras de Cobre (em t).....	33
Tabela 5-	Recursos & Reservas Mundiais de Cobre – 2001-2008.....	36
Tabela 6-	Consumo Mundial de Cobre refinado entre 1996 e 2000.....	42
Tabela 7-	% em massa do resíduo.....	51
Tabela 8-	Propriedades mecânicas dos compósitos com reforço.....	56

Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	15
2. OBJETIVOS.....	16
2.1 GERAL.....	16
2.2 ESPECÍFICO.....	16
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
3.1 MATERIAIS COMPÓSITOS.....	17
3.1.1 Compósitos aditivados por Cargas Minerai.....	18
3.1.2. Principais características das Cargas Minerai.....	19
3.2 MATRIZ POLIMÉRICA.....	19
3.2.1. Resina Poliéster Insaturado.....	22
3.2.2 Características das Resinas.....	23
3.3. CONSUMO E EXTRAÇÃO DE MATÉRIAS-PRIMAS E RECURSOS NATURAIS.....	26
3.3.1. Políticas voltadas para o Meio Ambiente.....	26
3.4. RESÍDUOS AGRO-INDUSTRIAIS.....	28
3.5. COMPÓSITO A BASE DE MATÉRIAS-PRIMAS RECICLADAS.....	29
3.5.1. Cobre.....	30
3.5.1.1 Introdução.....	30
3.5.1.2. Produção.....	31
3.5.1.3. Principais reservas no Brasil e no Mundo.....	32
3.5.1.3.1 Reservas Brasileiras.....	32
3.5.1.3.2. Reservas Mundiais.....	35
3.5.1.4. Principais empresas produtoras no Brasil.....	37
3.5.1.5. Mercado Consumidor (Exportação e Importação).....	38
3.5.1.5.1. Exportação.....	39
3.5.1.5.2. Importação.....	40
3.5.1.6. Métodos de Extração.....	41
3.5.1.7. Processamento Mineral.....	42
3.5.1.8. Importância do metal para Engenharia de Materiais.....	45
3.5.1.9. Geração da Escória de Cobre.....	45
3.5.1.10 Utilizações da Escória de Cobre.....	48

4.	METODOLOGIA.....	50
4.1.	ORIGEM DOS MATERIAIS.....	50
4.2.	TRATAMENTO DO RESÍDUO DE COBRE.....	50
4.3.	PROCESSAMENTO DOS COMPÓSITOS DE POLIÉSTER E RESÍDUO DE COBRE.....	50
4.4.	CONFEÇÃO DOS CORPOS DE PROVA.....	53
4.5.	ENSAIOS MECÂNICO.....	54
4.5.1	Tração.....	54
4.5.2	Flexão.....	55
4.5.3	Microdureza Vickers.....	55
5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	56
5.1	ENSAIOS DE TRAÇÃO.....	56
5.2	ENSAIOS DE FLEXÃO.....	59
5.3	ENSAIOS DE MICRODUREZA VICKER.....	60
6.	CONCLUSÃO.....	63
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	65

1. INTRODUÇÃO

À medida que as aplicações tornam-se mais sofisticadas, fica mais difícil para um único material satisfazer a todas as expectativas. Isto tem obrigado ao homem a conjugar diferentes materiais, através de suas propriedades individuais, para alcançar as características finais desejadas, dando origem a um novo tipo de material classificado como compósito.

Os compósitos é uma nova classe de materiais que vem se destacando nos últimos anos em diversos campos de aplicação, caracterizam-se por serem constituídos de dois ou mais componentes com propriedades mecânicas e/ou físicas bastante distintas. Quando unidos, entretanto, mesclam suas propriedades de tal forma, que tem sido possível, por exemplo, obter materiais de alta resistência mecânica e baixo peso específico, entre outras características interessantes.

Os compósitos de uma maneira geral, apresentam-se como um atrativo tecnológico crescente, devido à possibilidade na combinação de suas propriedades, sejam nas combinações de materiais, metálicos, poliméricos ou cerâmicos, resultando assim em propriedades superiores as dos materiais individuais. A composição dos materiais é decidida de acordo com a necessidade da estrutura e a relativa importância de várias propriedades e principalmente de acordo com a sua aplicação específica.

Na última metade deste século a utilização de resíduos industriais como reforço para plásticos tem sido muito explorada isto é reflexo das preocupações com o meio ambiente e com o desenvolvimento auto-sustentável. Muitas empresas vêm investindo em pesquisa e tecnologia para reaproveitamento de rejeitos industriais, o que aumenta a qualidade do produto reciclado e propicia maior eficiência do sistema produtivo. A utilização destes materiais para a obtenção de um produto apresenta, dentre outras, a vantagem de diminuir a quantidade de rejeito a ser descartada na natureza, além de agregar valor a um resíduo indesejável, e possibilita também gerar novos empregos.

Os compósitos particulados têm sido usados com sucesso como cargas ou agentes de reforço para melhorar a rigidez e a resistência mecânica de polímeros e a obtenção de sinergia de suas propriedades. A extensão da variação nas propriedades desses materiais compósitos depende de muitos fatores, como a adesão na interface matriz-reforço.

Quando se adiciona uma carga ao polímero é esperado que as propriedades finais do compósito sejam intermediárias às propriedades dos componentes individuais. O tamanho da partícula ou aglomerado tem forte influência nas propriedades de polímeros modificados com cargas particuladas. De uma maneira geral a resistência do compósito aumenta com a diminuição do tamanho de partícula. A forma das partículas da carga também é um fator importante para a tenacificação de termoplásticos vítreos. Acredita-se que partículas com formato esférico sejam mais eficientes para exercer funções de iniciação e terminação das trincas melhorando as propriedades mecânicas do compósito.

2. OBJETIVOS

2.1 GERAL

Estudar a viabilidade técnica da utilização da escória de cobre como carga mineral da indústria polimérica

2.2 ESPECÍFICO

Verificar por comparação a influência da porcentagem do rejeito de cobre nas propriedades mecânicas dos compósitos plástica-carga mineral.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 MATERIAIS COMPÓSITOS

Durante as duas últimas décadas, uma especial atenção tem sido dedicada à obtenção de novos materiais resultantes da mistura física de dois ou mais polímeros e adição de cargas. O interesse científico e mesmo comercial tem aumentado consideravelmente, pois destas misturas, muitas vezes, se obtém novos materiais com propriedades intermediárias a dos componentes puros. Os compósitos poliméricos podem ser obtidos dentre outras maneiras pela mistura mecânica dos componentes fundidos ou através da dissolução dos componentes em solventes comum e posterior eliminação do solvente. Inúmeros tipos de materiais particulados como carbonato de cálcio, talco, argila e microesferas de vidro tem sido largamente utilizados como carga de polímeros. A forma de partículas tem uma grande influência nas propriedades do compósito final.

Segundo (CALLISTER, 2008), os materiais compósitos são formados por uma estrutura de reforço inserida em uma matriz. Pode-se considerar, de maneira geral, um compósito como sendo um material multifásico que exiba uma proporção significativa das propriedades das fases que o constituem de tal forma que é obtida uma melhor combinação de propriedades pode ser considerado, também, como um material composto por dois ou mais constituintes que possui uma fase reforçada e uma fase ligante.

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 de 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 (GIBSON, 1994).

3.1.1 Compósitos aditivados por Cargas Minerai

No presente trabalho, carga mineral é o termo empregado para definir o uso de determinados pós-minerais em misturas com polímeros; a estas misturas de polímeros com cargas minerais dá-se o nome de compósito.

Em compósitos com polímeros, as cargas minerais são usadas devido a várias razões: redução de custo, melhorar o processamento, controle de densidade, efeitos óticos, controle da expansão térmica, retardamento de chama, modificações no que se refere às propriedades de condutividade térmica, resistência elétrica e susceptibilidade magnética, além de melhora de propriedades mecânicas, tais como a dureza, módulo de flexão, resistência ao impacto, dentre outras. Por exemplo, a metacaulinita é usada como carga de plásticos de revestimento de cabos elétricos para fornecer refratariedade elétrica; outros, como a muscovita, são usados em compósitos como retardadores de chama (CIMINELLI, 1988). A Tabela 1 elaborada por Charles H. Kline & Co. Inc. Plastic Compounding apresenta alguns minerais incorporados a polímeros e suas respectivas funções no compósito.

Tabela 1- Minerais e suas funções em compósitos poliméricos.

MINERAL	RESINA PRINCIPAL	FUNÇÃO
Alumina Hidratada	Poliéster	Anti-Chama
Calcita Natural	PVC	Carga
CaCO ₃ Precipitado	PVC	Resistência ao Impacto
Caulim ("Air Floated")	Poliéster	Tixotropia
Caulim Calcinado	PVC	Resistência Elétrica
Caulim (Surface - Treated)	Nylon	Estabilidade Dimensional
Mica	Polipropileno	Resistência a Flexão
Quartzto Moido	Epoxy	Estabilidade Dimensional
Talco	Polipropileno	Rigidez
Wollastonita	Nylon	Reforço Mecânico

Para avaliar o desempenho total dos materiais compósitos, é essencial conhecer individualmente o papel da matriz e do material, visto que os danos iniciais em um compósito são controlados pelo trincamento da matriz, que por sua vez depende de suas propriedades mecânicas (KHAN et al., 2002).

3.1.2. Principais características das Cargas Minerais

As principais características consideradas no desempenho de uma carga mineral para produção de um compósito são: propriedades mineralógicas (composição química, estrutura cristalina, propriedades ópticas, hábito, clivagem e dureza, densidade, brilho, cor e propriedades físico-químicas de superfície), granulometria, área de superfície específica e relação de aspecto (LIMA, 2007).

3.2 MATRIZ POLIMÉRICA

As matrizes usadas nos compósitos são baseadas em resinas ou adesivos poliméricos, os quais são usados para impregnar os reforços,

enquanto estiverem em uma fase líquida. Este processo geralmente é feito num molde do produto a ser construído.

A matriz de um material compósito exerce total influência em suas propriedades, pois determina a resistência do compósito à maioria dos processos degradativos que causam, eventualmente, a falha da estrutura, incluindo os danos de impacto, a de laminação, a absorção de água, ataque químico, resistência à corrosão e resistência à oxidação. Além de exercer influência nas propriedades do compósito, a matriz contribui para uma maior ou menor facilidade de conformação na fabricação do material compósito e influencia no custo final do produto.

Segundo Ferrante (2002) a matriz deve se comportar como adesivo, protetor das fibras e agentes de transferência de carga para estas. Podem ser classificadas em dois tipos, termofixas e termoplásticas.

Dentre as matrizes termofixas (ou termorrígidas), as resinas poliéster são as mais utilizadas em aplicações de baixo custo. Elas exibem boas propriedades mecânicas e a mencionada resistência ao calor é notável no PPS (polifenilenoossulfona), que suporta uso contínuo até 315°C (FERRANTE, 2002). São encontradas como resinas líquidas e que solidificam pelo calor ou pela ação de um agente catalisador. Uma vez solidificadas não mais voltam ao estado líquido inicial, portanto só pode ser usada uma única vez. Tradicionalmente as resinas termofixas são originárias do petróleo, sendo que algumas são baseadas em óleos vegetais de recursos renováveis. Podem ser moldadas por processos de fabricação bastante diferentes quanto à complexidade e custos, desde processos manuais e artesanais com o uso de moldes simples e baratos, passando por processos mistos de média complexidade entre manual e mecanizado até os processos caros e complexos como os usados nos termoplásticos.

Quanto aos compósitos de matriz termoplástica, amolecem na presença de calor e enrijecem quando frios, permitindo ser usado mais de uma vez, o que facilita os processos de recuperação e reciclagem, apesar de alguns tipos sofrerem degradação a cada ciclo de amolecimento. São moldadas por

equipamentos pesados e em moldes metálicos complexos e caros. Apesar de serem baseadas tradicionalmente no petróleo, algumas resinas termoplásticas têm como base matérias primas vegetais biodegradáveis, mais de 50% do mercado pertence a produtos que têm as poliamidas como matriz, vindo em seguida os PPS. O conhecido PEEK ocupa apenas 5% do total, mas seu alto custo faz com que signifique cerca de 14% do valor (FERRANTE, 2002). As propriedades de algumas importantes matrizes são apresentadas na tabela 2.

Tabela 2- Propriedades relevantes de matrizes

Matriz	Densidade (Mgm-3)	Modulo de elasticidade em flexão (GPa)	Resistência á tração (MPa)	Temperatura contínua de operação (°C)
TERMOFIXOS				
Poliéster	1,2	4,00	63	80
Epóxi	1,4	3,00	79	130
Bismaleimido	-	4,50	95	230
TERMOPLÁSTICOS				
PPS	1,3	2,3	72	315
PEEK	1,3	3,80	100	250

A característica mais importante da resina matriz é a capacidade de absorver energia e reduzir as concentrações de tensões, pelo fornecimento de tenacidade à fratura ou ductilidade, maximizando a tolerância a danos de impacto e o tempo de durabilidade do compósito (PILATO e MICHNO, 1994).

O desempenho termo-mecânico, esperado dos compósitos, é governado pela resistência das resinas ao calor (PILATO e MICHNO, 1994). Deste modo, espera-se que a resina da matriz forneça características ótimas ao compósito, dentro da faixa de temperatura recomendada.

Embora existam vários tipos de resinas usadas em compósitos para indústria como a poliéster, vinil éster e epóxi, a maioria das partes estruturais é feita principalmente com resina termofixa, são particularmente adequados como materiais para a fabricação de compósitos, por sua facilidade de

fabricação e adesão como fibra (CARVALHO, 2003). Dentre essas resinas a poliéster insaturado, foi utilizada devido às vantagens da cura a frio, facilidade de aquisição comercial e de processos de fabricação de baixo custo sintonizando os materiais e o processo de fabricação.

3.2.1. Resina Poliéster Insaturado

Os poliésteres insaturados são ésteres complexos formados pela reação de um diálcool (glicol) e um anidrido ou ácido dibásico (diácido) com liberação de uma molécula de água. Em virtude da reação ocorrer nas duas extremidades da cadeia, é possível ter moléculas muito compridas e obter-se uma multiplicidade de grupos éster.

Muitas resinas poliéster são viscosas, consistindo de líquidos claros de uma solução de poliéster em um monômero que é normalmente estireno. A adição de estireno em quantidades acima de 50% ajuda a produzir uma resina de fácil manuseio pela redução da viscosidade (MARGOLIS, 1986).

Pode ser utilizado com ou sem reforço, se bem que uma vez reforçado se transforma em um plástico de engenharia com ótimas propriedades físico-mecânicas, substituindo muitas vezes materiais como aço, ferro e concreto.

Suas características químicas podem ser modificadas com a adição de aditivos, como os protetores contra raios ultravioletas, os retardantes de chama ou como os corantes. As propriedades físicas podem ser modificadas pela adição de cargas e reforços fibrosos, caracterizando, portanto um compósito. A tabela 3 mostra as variedades de resinas poliéster insaturada e suas propriedades.

Tabela 3 – Tipos de resina poliéster insaturado.

RESINA	CARACTERÍSTICAS
Ortoftálica	Resinas de baixo custo e de uso geral. Suas propriedades físicas e mecânicas são inferiores que as demais resinas poliéster. É usada na confecção de barcos, carrocerias, calhas, tanques e revestimentos na construção civil, equipamentos esportivos, e esculturas artísticas.
Tereftálica	Tem grande resistência mecânica, elétrica e térmica, a maior entre as resinas poliéster. Resistência química um pouco maior que as Isoftálicas.
Isoftálica	Tem maior estabilidade das propriedades físicas e mecânicas que as ortoftálicas. Utilizadas para tubos, tanques e recipientes com especial resistência a agentes químicos.
Bisfenólica	Alta resistência química e a hidrólise. Aprovada pelo Instituto Adolfo Lutz para produtos que entram em contatos com alimentos. Usada para fins industriais.
Éster Vinilica	Elevada resistência química, a maior entre as resinas poliéster e elevada resistência mecânica. Grande longevidade, rivalizando com o aço inoxidável. Usada em equipamentos industriais em ambientes corrosivos, de alta temperatura tais como indústrias químicas, petroquímicas, papel e celulose, cloro-soda e outras.

Fonte: ISAR (2004)

3.2.2 Características das Resinas

A escolha de um sistema de resina para uso em materiais compósitos depende de inúmeras características, das quais as mais importantes são as propriedades adesivas, mecânicas, resistência à micro-trincas e a degradação pelo ingresso de água (SPSYSTEMS, 2003). (LAPIQUE e REDFORD, 2002).

Propriedade Adesiva - A adesão da resina nas fibras de reforço é de extrema importância para garantir a transferência de cargas, aplicadas externamente, da matriz para as fibras. Sabe-se bem que as propriedades de alto desempenho dos materiais compósitos reforçados com fibras não são simplesmente devido à soma das propriedades de seus constituintes. O desempenho final desses compósitos é fortemente influenciado pela natureza da interface fibra-matriz (adesão) (BENITO, 2003).

A resina poliéster geralmente tem propriedades adesivas mais baixas em comparação com a resina vinil éster e epóxi. A resina vinil éster mostra certa superioridade em relação a poliéster, mas os sistemas epóxi apresentam melhor desempenho e são, portanto, freqüentemente encontradas em muitos adesivos de alta resistência (SPSYSTEMS, 2003).

Propriedades Mecânicas - Duas importantes propriedades mecânicas de um sistema de resina são: a resistência à tração e a rigidez. As resinas epóxi são consideradas uma das mais importantes classes dos polímeros termorrígido. Uma vez curadas, elas são caracterizadas por apresentarem melhores propriedades mecânicas em relação às demais resinas (CHIKHI et al., 2002, ABAD et al., 2001). No período de cura a resina polimérica sofre redução de volume devido ao rearranjo e reorientação das próprias moléculas na fase líquida e semi-gel. Poliéster e vinil éster sofrem considerável reorganização molecular para alcançar o estado de cura, e podem apresentar redução de até 8% em seu volume. A natureza diferente da reação de cura da resina epóxi leva a pouca reorganização, implicando em uma menor redução, aproximadamente 2% de seu volume. Nas resinas epóxi a reação de cura ocorre somente nas extremidades da cadeia polimérica através de grupos reativos epóxi. Nas resinas poliéster e vinil éster, que apresentam estruturas químicas semelhantes, a reação de cura é mais complexa porque muitos processos ocorrem simultaneamente. A polimerização é ativada pela decomposição de radicais que inicialmente reagem com o iniciador. Quando o iniciador é consumido, a reação de cura inicia seguindo três possíveis caminhos: copolimerização poliéster-estireno (vinil éster-estireno), homopolimerização estireno, e eventualmente homopolimerização poliéster (homopolimerização vinil éster) (LIONETTO et al., 2004). Segundo SHIM e KIM (1997) e SPSYSTEMS (2003) o menor nível de contração durante a cura é, em parte, responsável pelas melhores propriedades mecânicas da resina epóxi.

Micro-trincas: A presença de micro-trincas na matriz polimérica de um material compósito reduz as propriedades finais da resina, e conseqüentemente a do compósito. Em um ambiente tal como água ou ar

úmido, a resina micro-trincada absorverá consideravelmente mais água do que uma resina não trincada (LUCAS, 1995), ocasionando um aumento de peso, ataque de umidade sobre a resina e a interface matriz/reforço do compósito, perda de rigidez e, com o tempo, uma eventual queda nas propriedades finais do material (SPSYSTEMS, 2003).

Degradação pelo Ingresso de Água: uma importante propriedade de um sistema de resina é a resistência à degradação pelo ingresso de água. Todas as resinas absorvem alguma umidade, adicionando peso aos laminados, mas o que é mais significativo é como a água absorvida afeta a resina e a ligação resina/fibra em um laminado, levando a uma gradual perda nas propriedades mecânicas. Ambas as resinas, poliéster e vinil éster, são mais propensas à degradação pela água devido à presença de grupos éster hidrolisáveis. As resinas epóxi tendem a absorver uma menor quantidade de água devido à sua estrutura molecular, ou seja, ausência de grupos éster, que são suscetíveis à sorção de água (SPSYSTEMS, 2003). A suscetibilidade da resina matriz à absorção de água e a redução de seu desempenho em ambiente hostil é uma preocupação inerente ao uso desses materiais. O ciclo contínuo de exposição à ambiente seco e úmido pode causar um ligeiro aumento do volume da resina, que é denominado inchamento. O processo de expansão/contração reversível, decorrente da sorção e desorção de umidade, podem estimular a formação de microtrincas fragilizando o material compósito.

Outro aspecto relevante para a seleção de um sistema de resina é o custo. Dados comerciais mostram que dentre as três resinas citadas como mais utilizadas em compósitos para indústria, a resina epóxi apresenta maior valor de custo, aproximadamente 1,5 vezes maior que o custo da resina vinil éster e 3,5 vezes maior que o custo da resina poliéster.

3.3. CONSUMO E EXTRAÇÃO DE MATÉRIAS-PRIMAS E RECURSOS NATURAIS

A necessidade de ampliação do ambiente construído nos países em desenvolvimentos também conduz a impactos ambientais relevantes. Isso pode ser demonstrado pelo elevado consumo de matérias-primas pelo setor que, segundo diferentes estimativas, variam entre 15% e 50% da quantidade total de recursos extraídos da natureza.

O alto consumo energético é outro indicativo do uso de recursos naturais pela indústria da construção civil. O ENBRI (European Network of Building Research Institute, 1994) apresentou a indústria como responsável por 4,5% do consumo de energia mundial, sendo 84% desta usada apenas na fase de produção de materiais.

O World Resources Institute (WRI) apud JOHN (2000) cita estudo estimado que países industrializados como Alemanha, Japão e Estados Unidos consomem entre 45 e 85 toneladas/hab/ano das matérias primas, sem incluir água e ar.

3.3.1. Políticas voltadas para o Meio Ambiente

A questão ambiental é considerada pelos seus líderes como um dos principais desafios a ser equacionado pelo setor da construção. Pesquisa de opinião internacional realizada pela CERF (Civil Engineering Research Foundation) apontou o tema como sendo o segundo mais importante de uma lista apresentada (CERF apud JOHN, 2000), conforme mostra a figura abaixo.

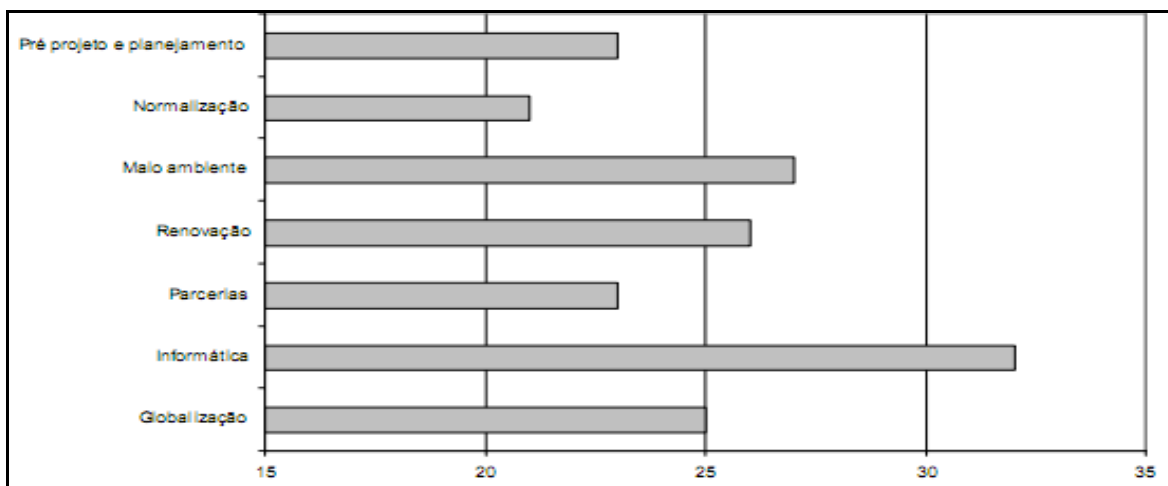


Figura 1 – Desafio para o setor de construção civil, segundo a pesquisa da CERF, Escala relativa (a partir de JOHN, 2000).

JOHN (2000) afirma que a questão ambiental é ainda mais importante, profunda e de maior alcance social que sua antecessora - a qualidade, pois não se discute apenas a satisfação dos usuários diante de um produto específico, mas sim o futuro da humanidade ao longo do tempo, bem como a qualidade de vida da população em curto prazo.

Ações do setor voltadas de um modelo de desenvolvimento sustentável. Entre estas ações destaca-se a reciclagem de resíduos. A partir do reaproveitamento de subprodutos pode-se reduzir a extração de matérias-primas naturais, o consumo de energia para produção de materiais e a emissão de gases na atmosfera. Em conjunto, estes fatores contribuem para suprir às necessidades de vida da população presente, melhorando sua qualidade de vida, sem, entretanto, comprometer as gerações futuras, premissa básica do desenvolvimento sustentável. Aspectos de marketing, caso do selos verdes, também contribuem para a difusão do uso de materiais reciclados pela sociedade (JOHN, 2000). A indicação de produto ambiental favorável contribui na hora da escolha do consumidor.

Assim, conclui-se que a reciclagem, sob os pontos de vista econômico e ambiental, permite (ENBRI, 1994):

- a) Reduzir o volume de extração de matérias-primas e conservar as não renováveis, beneficiando o meio ambiente;

- b) Diminuir o consumo de energia para produção de materiais, com a consequente diminuição dos custos de seus derivados e a menor necessidade de investimentos econômicos e ambientais com geração de energia;
- c) Minorar o volume de emissões atmosféricas, como por exemplo, o CO₂ ;
- d) Melhorar a saúde e a segurança da população.

JOHN (2000) classifica a reciclagem de resíduos como parte fundamental do desenvolvimento sustentável de qualquer país, mas, até pouco tempo atrás, sua prática estava restrita apenas a uma alternativa para redução de custos, visão que aparentemente tem se alterado, sobretudo em função de pesquisas desenvolvidas buscando-se melhorar o desempenho de produtos através da incorporação de resíduos e produtos reciclados. Um bom exemplo disso é o caso da incorporação de cinzas e materiais pozzolânicos residuais aos compostos cimentícios, visando principalmente à melhoria das suas propriedades físicas e mecânicas, e de sua durabilidade. A aliança entre esses dois aspectos – baixo custo e desempenho adequado, torna-se uma das grandes vantagens potenciais da reciclagem de resíduos.

3.4. RESÍDUOS AGRO-INDUSTRIAIS

JOHN (2000) classifica resíduo industrial como sinônimo de subproduto, enquadrando assim, todos os produtos secundários gerados em um processo. Alguns autores costumam diferenciar subproduto de resíduo, definindo o primeiro como sendo o resíduo que adquire valor comercial (CINCOTTO, 1988; VALLE, 1995). Os resíduos agro-industriais (RAI) são provenientes de atividades como agricultura, indústria têxteis, de papel, automobilísticas e de beneficiamento de metais e, devido à sua geração concentrada, sua recuperação torna-se mais fácil (JOHN, 2000). Para o seu emprego como matéria-prima, é importante o conhecimento de suas características químicas, físicas e dos prováveis riscos que essa utilização possa vir a causar ao meio ambiente (JOHN, 2000). A análise dessas características possibilita o direcionamento mais adequado da reciclagem, levando-se em conta os

potenciais intrínsecos apresentados pelos resíduos. Fatores como necessidade de transporte até o local de uso, constância ou sazonalidade na produção e forma de apresentação dos resíduos podem ser o diferencial entre a viabilidade ou não da sua reciclagem.

Inúmeros problemas poderiam ser reduzidos com a reciclagem dos RAI, como o impacto ambiental e os custos agregados das indústrias. Deve-se ressaltar, entretanto, a importância de não relacionar o uso de materiais reciclados apenas a aspectos econômicos, mas também às vantagens técnicas advindas da sua incorporação ao produto.

3.5. COMPÓSITO A BASE DE MATÉRIAS-PRIMAS RECICLADAS

A preocupação com o grave problema da geração de resíduos vem, cada vez mais, despertando na sociedade a conscientização da necessidade de realização de estudos com vistas a melhorar o ciclo de produção e adequar a destinação dos resíduos gerados. Neste sentido, a reciclagem se apresenta como uma grande alternativa.

Atualmente existem três rotas que têm sido utilizadas, ou pelo menos estudadas, nestes últimos anos com relação à problemática de resíduos sólidos industriais. A primeira rota utilizada tem sido o processamento e disposição dos resíduos em aterros. Porém essas operações apresentam custos cada vez maiores. Além disso, os locais para disposição de resíduos sólidos têm diminuído, seja pelo esgotamento de sua capacidade de armazenagem, seja pela dificuldade de obter permissão para implantação de novos aterros, ou pela pressão das comunidades locais. Dessa forma, uma segunda rota tem sido estudada – evitar a geração de resíduos sólidos e/ou minimizá-los no processo de origem. A terceira rota, a reciclagem externa, tem sido a melhor solução para reduzir os custos, e talvez até gerar algum retorno financeiro para a empresa quando transforma esse resíduo num subproduto,

ou seja, alguns resíduos sólidos industriais podem ser utilizados como matéria-prima para fabricação de matérias usadas na construção civil.

A indústria metalúrgica é historicamente um setor que produz volumes consideráveis de resíduos sólidos inerentes aos seus processos produtivos. Com o desenvolvimento tecnológico e maior rigor dos órgãos ambientais, esse setor introduziu modificações nas plantas de produção, como filtros e estações de tratamento de efluentes, entre outros sistemas que reduziram a poluição gerada pelos efluentes líquidos e gasosos.

Os resíduos sólidos resultantes dos processos metalúrgicos são basicamente escórias ou areias. Esses resíduos apresentam composições químicas variadas, dependendo basicamente da matéria-prima utilizada e do processo de produção das ligas/metals. Geralmente esses resíduos apresentam-se sob forma granular.

Entre os resíduos dessa indústria, destacam-se a escória de cobre, escória de alto forno, escória de aciaria elétrica e a areia de fundição, visto que principalmente os três primeiros já são usados em obras públicas em alguns países desenvolvidos. A seguir, será feita uma abordagem sobre a escória de cobre.

3.5.1.Cobre

3.5.1.1 Introdução

Estudos comprovam que um dos primeiros metais a ser usado na antiguidade foi o cobre. Usava-se também o ouro, mas era restrito seu uso para objetos ornamentais, portanto o cobre era o metal usado para a fabricação de utensílios. Na procura do material adequado, distinguem-se as grandes idades da pedra, do cobre, do bronze e do ferro. A princípio, usou-se o metal encontrado no elemento nativo (cobre), mesmo sendo escasso na natureza foi trabalhado a frio ou a fogo, com martelo, atingindo, assim, a forma desejada. Mais tarde ele foi extraído da calcopirita (CuFeS_2). Uma grande evolução foi quando conseguiu obter o cobre na sua forma líquida (temperatura de fusão de

1083°C), mas, para isso, foi necessária a invenção de fornalhas. E, a partir dessa evolução, foi possível a invenção de ligas, surgindo assim o bronze (ISABEL, 2003).

Os incontáveis objetos encontrados nas escavações confirmam a grande habilidade dos povos antigos em preparar o cobre. Armas, facas, recipientes, utensílios em geral foram encontrados em palácios e túmulos egípcios. No campo industrial, a exigência de cobre ficou limitada, próximo a 1799, quando Alexandre Volta construiu sua maravilhosa pilha e, daquele modesto aparelho, no qual o cobre também teve sua parte, nasceu a mais importante revolução industrial da história, determinada pela energia elétrica. O cobre puro é, entre os metais, um dos melhores condutores de eletricidade (somente a prata o supera) e, portanto, seu consumo aumentou extraordinariamente, com o desenvolvimento da indústria elétrica. E como as aplicações elétricas se multiplicam, o consumo de cobre torna-se cada vez maior. Em proporções mais modestas, ele é usado puro ou em liga, nas indústrias mecânicas (automóveis, locomotivas), nas bélicas e nas construções, e, além disso, sob forma de compostos (sulfetos -calcopirita e óxidos -cuprita), nas indústrias químicas. Naturalmente, a grande extração e exploração dos últimos decênios fazem com que as jazidas fiquem cada vez mais pobres e a descoberta de novas é pouco provável (ISABEL, 2003).

3.5.1.2. Produção

A produção de cobre exige uma série de operações algumas longas e complicadas, principalmente, devido ao mineral de minério de cobre extraído ser, normalmente, muito pobre em metal. Enquanto um minério de ferro, para ser explorado, deve conter 30% ou 40% do metal, para o cobre é necessário muito menos, ou seja, de 3% a 1% já suficiente para tornar viável sua extração. Após este longo ciclo produtivo, o cobre é lançado ao comércio trabalhado de acordo com os fins a que se destina. Para se ter uma idéia do aumento da produção mundial de cobre, nestas últimas décadas, basta apenas citar que,

há um século atrás, a produção beirava 100-150 mil toneladas anuais e, hoje, atinge cerca de 2 milhões e meio de toneladas. Destes, quase um terço é produzido pelos Estados Unidos, cujas jazidas cupríferas mais abundantes se encontram no Arizona, no Utah, no Novo México, em Montana, em Michigan (ANDRADE, 1997).

Aos Estados Unidos, segue-se a Rodésia, o Chile, a Rússia, o Canadá e o Congo Belga. A Europa consome cobre muito mais do que produz. Minas de certa importância encontram-se na Iugoslávia, na Finlândia, na Suécia, na Noruega, na Espanha. Na Alemanha, a mina de Mansfeld, no maciço de Harz, está em atividade desde o ano de 1200. Ainda tem as minas de Chipre, já exploradas há três ou quatro mil anos antes de Cristo, depois abandonadas e hoje reativadas. O nome clássico do cobre é coprum e deriva justamente dessa ilha (ANDRADE, 1997).

3.5.1.3. Principais reservas no Brasil e no Mundo

3.5.1.3.1 Reservas Brasileiras

As jazidas e minas mais importantes, com maior significado econômico e que contribuem com a maior parte da produção mundial de cobre são aquelas do tipo disseminado ou porfirítico, caracterizadas pela presença de minério sulfetado abaixo do teor.

No Brasil, em 2008, as reservas totalizaram 17,3 Mt Cu-contido (reservas medidas e indicadas) que representam apenas 1,7% das reservas mundiais de cobre. Na Tabela 4 é mostrada a evolução dessas reservas sendo que em 2008 ocorreu um incremento de 14% em relação a 2007, devido à aprovação de novas reservas nos Estados do Pará e no Mato Grosso.

A expectativa é de que se alcance a condição de auto-suficiência no metal já em 2013, com os adicionais de produção dos novos projetos da Vale e

da Caraíba, além de outros projetos de menor porte, incluindo expansões de produção.

Tabela 4 - Evolução das reservas brasileiras de Cobre (em t)

	Reserva Medida			Reserva Indicada			Total (Medida+Indicada)	
	Minério	Teor %	Contido	Minério	Teor %	Contido	Minério	Contido
2001	775.185.820	0,95	7.331.773	873.939.503	0,78	6.840.103	1.649.125.323	14.171.877
2002	824.051.533	0,93	7.647.496	872.498.246	0,85	7.413.876	1.696.549.779	15.061.372
2003	820.573.469	0,90	7.418.575	872.417.619	0,79	6.872.154	1.692.991.088	14.290.730
2004	883.607.649	0,81	7.152.332	944.496.391	0,80	7.588.919	1.828.104.040	14.741.251
2005	840.858.895	0,83	7.001.967	1.178.713.081	0,71	8.328.621	2.019.571.976	15.330.588
2006	843.631.299	0,79	6.698.654	1.206.016.829	0,71	8.583.193	2.049.648.128	15.281.846
2007	792.357.836	0,84	6.639.346	1.215.672.776	0,70	8.515.851	2.008.030.612	15.155.197
2008	856.853.377	0,83	7.089.736	1.477.107.899	0,69	10.229.890	2.333.961.276	17.319.626

Fonte: DNPM/DIDEM

Estas reservas estão localizadas nos estados do Pará (65%), Goiás (14,4%) e Bahia (13,2%) e os 7,4% restantes distribuídos pelos estados do Ceará, Alagoas, Rio Grande do Sul, São Paulo, Minas Gerais, Paraná e Mato Grosso.

Na distribuição macrorregional das reservas observa-se maior concentração de recursos cuprífeos na região Norte do País, com destaque para o Estado do Pará. O Gráfico 1 mostra a evolução das reservas brasileiras nos últimos anos.

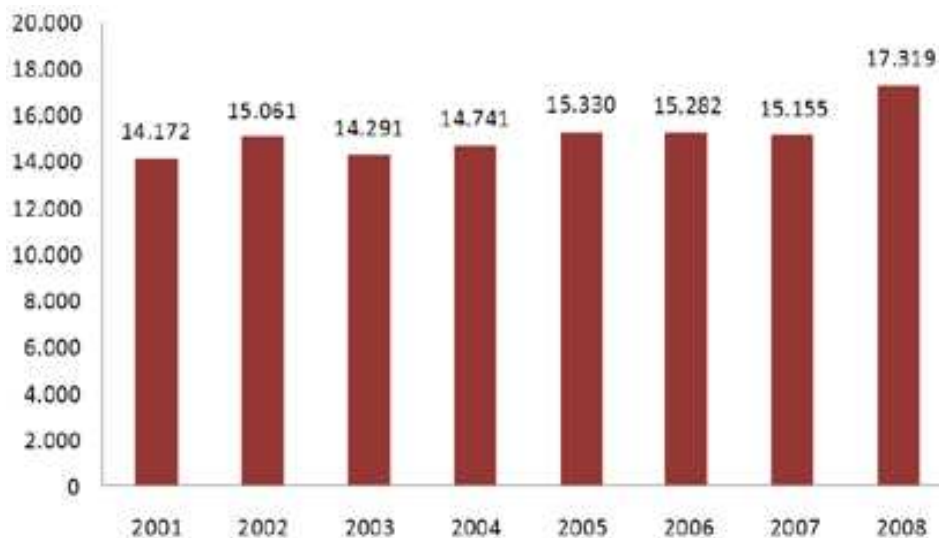


Gráfico 1 - Evolução das reservas brasileiras de Cobre
(contido da medida+indicada em 10³ t)
Fonte: DNPM/DIDEM

O Estado do Pará compõe as maiores reservas de minério de cobre do Brasil (Figura 2), localizadas no distrito cuprífero de Carajás, perfazendo uma quantidade total de 1.568.067.455 t de minério com 12.589.105 t de cobre contido.



Figura 2 – Reserva de cobre Mina do Sossego

O depósito de Salobo contém as maiores reservas de cobre do Brasil, com 1.242.845.000 t de minério e teores de 0,72% de cobre, seguidas de Sossego, com 320.757.401 t de minério, mas com teores maiores, de 1,14% de cobre. Outros depósitos incluem Pojuca C4, Igarapé Bahia entre outros. As

Figuras 3 e 4 mostram as reservas brasileiras de Cobre por Estado e por Empresas.

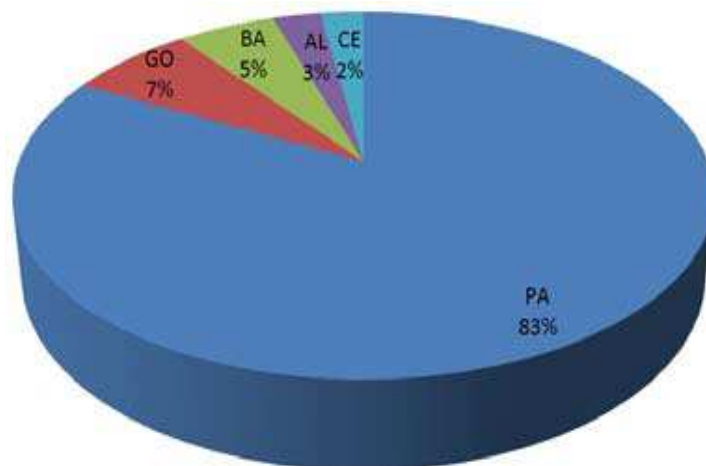


Figura 3 - Reservas brasileiras de Cobre por Estado (2008)

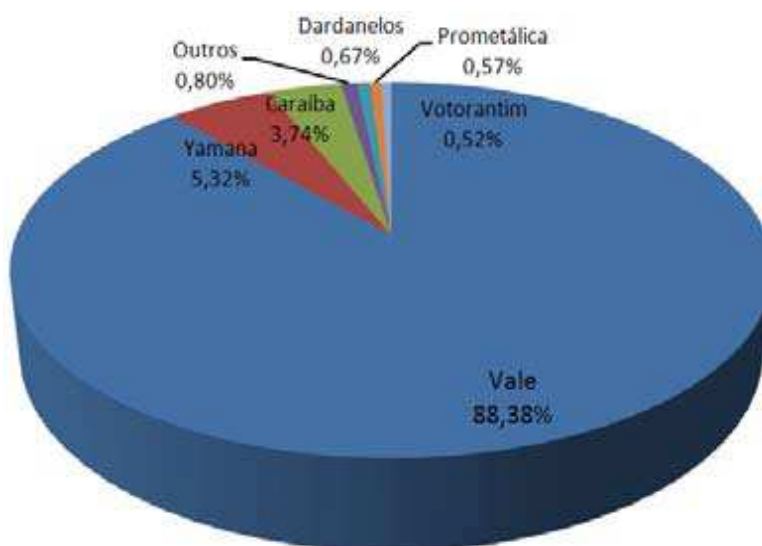


Figura 4 - Reservas brasileiras de Cobre Empresas (2008)

3.5.1.3.2. Reservas Mundiais

Conforme série histórica recente de reservas mundiais, construída com referência na base de dados do USGS (*Reserve Base: measured + indicated*), nota-se uma evolução significativa da ordem 650 milhões de toneladas (Mt), em 2001, aproximando-se atualmente do patamar de 1 bilhão de toneladas (Bt) de Cobre-contido, distribuídas conforme Tabela 5 e visualizadas no Gráfico 2.

Atribui-se ao fato reavaliações de depósitos cupríferos na Austrália, Chile, China, Polônia e Peru, realizadas no referido período, que facultaram índice de crescimento da ordem de 52,3%, entre 2001-2008.

Tabela 5 - Recursos & Reservas Mundiais de Cobre – 2001-2008

Reservas (10 ³ t)	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008 ^p	%
Chile	160.000	370.000	360.000	360.000	360.000	360.000	360.000	360.000	36,05
Peru	40.000	60.000	60.000	60.000	60.000	60.000	60.000	120.000	12,02
EUA	90.000	70.000	70.000	70.000	70.000	70.000	70.000	70.000	7,01
China	37.000	63.000	63.000	63.000	63.000	63.000	63.000	63.000	6,31
Polônia	36.000	50.000	48.000	48.000	48.000	48.000	48.000	48.000	4,81
Austrália	23.000	43.000	43.000	43.000	43.000	43.000	43.000	43.000	4,31
México	27.000	40.000	40.000	40.000	40.000	40.000	40.000	40.000	4,01
Indonésia	25.000	38.000	38.000	38.000	38.000	38.000	38.000	38.000	3,81
Zâmbia	34.000	35.000	35.000	35.000	35.000	35.000	35.000	35.000	3,50
Rússia	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000	3,00
Cazaquistão	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000	22.000	2,20
Canadá	23.000	23.000	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000	2,00
Brasil	14.172	10.061	14.291	14.741	15.331	15.282	15.155	17.320	1,73
Outros	90.828	99.939	95.079	95.259	94.669	94.718	94.845	92.280	9,24
Mundo	650.000	952.000	937.000	937.000	937.000	937.000	937.000	998.600	100,00

Fonte: Mineral Summary – USGS (vários); Anuário Mineral Brasileiro – DIDEM/DNPM (vários).

Nota: Dados preliminares (Reserves, USGS); % Participação proporcional dos países (ano base 2008).

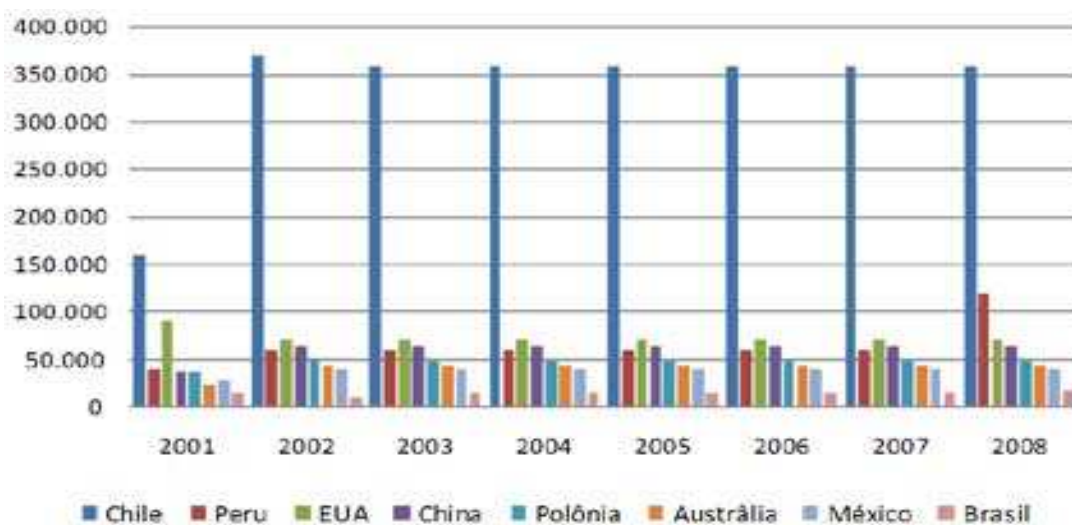


Gráfico 2- Evolução das reservas mundiais de Cobre, por países (em 10³ t)

O ranking de países detentores de reservas de cobre (ano-base 2008) apresenta a seguinte ordem: Chile (36,0%), que mantém hegemonia mundial, seguido de Peru (12,0%), cuja reavaliação de recursos em 2008 o projeta entre os maiores detentores de recursos, Estados Unidos (7,0%) e China (6,3%), que juntos contabilizam 60% das reservas mundiais (FIGUEIREDO, 2000).

3.5.1.4. Principais empresas produtoras no Brasil

As principais empresas produtoras de minérios de cobre são: Vale (antiga Companhia Vale do Rio Doce), no Carajás, PA. Esta empresa vendeu, em 2007, 300 mil toneladas de cobre, gerando receita de 3,832 bilhões de reais, representando 5,8% de sua receita total; sendo, então, responsável por 57% da produção brasileira de cobre em 2008 (figura 5); Mineração Caraíba S/A, Vale do Curaçá, BA. A figura 6 mostra a participação das empresas na produção de cobre concentrado.



Figura 5 – Mina do Sossego

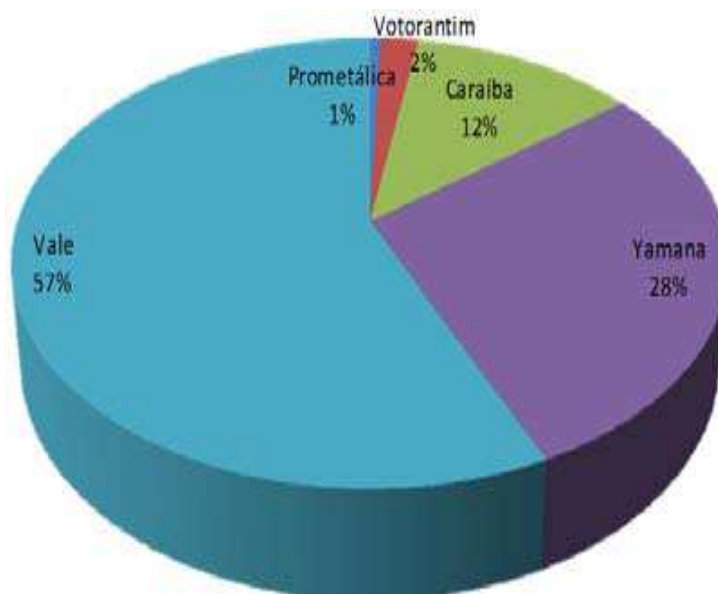


Figura 6 - Participação das empresas na produção de Cu-concentrado, em 2008

Fonte: DNPM/DIDEM

3.5.1.5. Mercado Consumidor (Exportação e Importação)

A tendência da balança comercial do minério de cobre para os próximos anos é positiva devido à evolução da produção interna, ao aumento das exportações e à diminuição das importações. Em 2007, o Brasil exportou mais do que importou em quantidade, porém, em valor, a balança do minério de cobre apresentou um déficit de US\$ 45 milhões. Tanto as exportações quanto as importações do setor cresceram cerca de 21% nos primeiros nove meses de 2007. A indústria de fios e cabos e semimanufaturados de cobre e suas ligas registrou um novo superávit de US\$ 30,3 milhões nos primeiros nove meses deste ano, com vendas externas da ordem de US\$ 464,8 milhões. O nível das exportações do setor cresceu aproximadamente 21,8% em relação ao mesmo período do exercício anterior, quando atingiu US\$ 381,7 milhões. A perspectiva do setor é seguir ampliando as vendas externas. As exportações do segmento de fios e cabos também continuam crescendo, tendo somado aproximadamente US\$ 357,4 milhões de janeiro a setembro deste ano, um incremento de 25% comparado com o mesmo período de 2006. É importante ressaltar que o real continua valorizado em relação ao dólar, uma dificuldade

que tem sido compensada pela competitividade de nossa indústria. O estudo desenvolvido pelo Sindicato da Indústria de Condutores Elétricos, Trefilação e Laminação de Metais Não-Ferrosos do Estado de São Paulo (Sindicel) e da Associação Brasileira do Cobre (ABC) - entidades que, juntas, reúnem toda a cadeia produtiva do cobre no Brasil - mostra ainda um aumento significativo das importações na balança comercial do segmento. De janeiro a setembro de 2007, o setor importou cerca de US\$ 434,4 milhões, contra US\$ 358,6 milhões no mesmo período do ano anterior, o que significou um incremento de 21,1%. A figura 7 mostra os principais segmentos demandantes de cobre (ANDRADE, 1997).

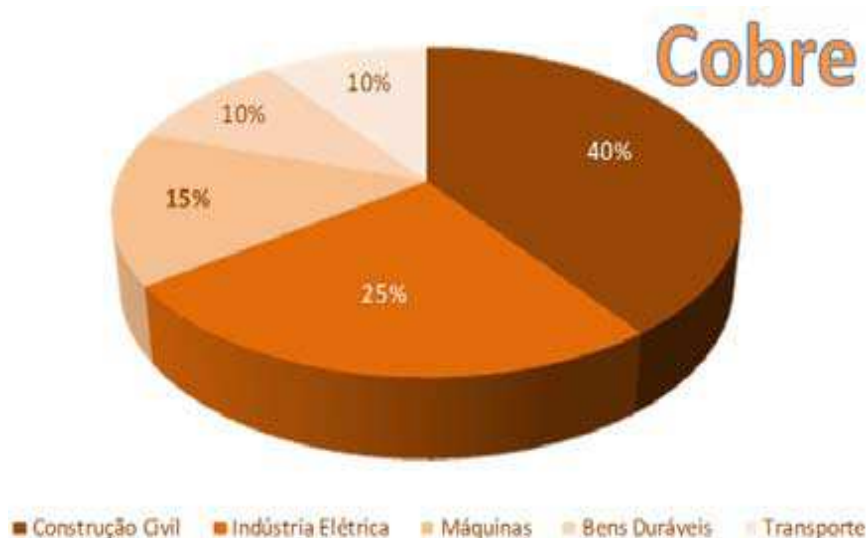


Figura 7 - Cobre: Principais segmentos industriais demandantes

3.5.1.5.1. Exportação

O mercado mundial de cobre foi afetado em 2005 por escassez de matéria-prima, principalmente por causa da exaustão de jazidas e limitação das unidades produtivas. Com a elevação dos preços e o aquecimento do mercado, os exportadores brasileiros aceleraram os embarques. Em 2005, as exportações subiram 105% (o quarto maior índice de crescimento registrado entre os 50 itens mais exportados pelo país). Segundo especialistas, a retomada de investimentos no setor e a alta demanda internacional poderão estimular

produtores brasileiros a ampliarem sua participação no mercado. Há previsões de que o país consiga atingir a auto-suficiência e tornar-se exportador líquido do metal até 2010. Atualmente, os países que mais compram do Brasil são: Canadá, China e Estados Unidos. E tem como principais concorrentes o Chile, a China, os Estados Unidos e o Japão. As exportações de cobre concentrado representam entre 20 e 30% da sua produção anual. Os maiores exportadores são o Chile e a Indonésia, que, em conjunto, representam 56% das exportações mundiais de concentrado que se destinam em grande parte ao mercado asiático, destacando-se Japão e China. O Japão, que não possui reservas de cobre, é o maior importador mundial de concentrado, o que possibilita a este país ser o maior produtor mundial de cobre refinado (ANDRADE, 1997).

3.5.1.5.2. Importação

No período de 1988 a 1994, as importações nacionais de concentrado de cobre cresceram cerca de 30%, oriundas principalmente do Chile, do Peru, do México, do Canadá e dos Estados Unidos. Entre 1995-1996, houve redução de 7,4% nas importações brasileiras de concentrado de cobre, provenientes basicamente do Chile, do Peru e da Indonésia, afetadas pela alta dos preços internacionais do cobre. De 1996 a 1999, ocorreu um aumento de 61,3% nas importações do concentrado de cobre, procedentes do Chile, do Peru, da Indonésia, da Argentina e dos Estados Unidos, motivadas pela queda dos preços internacionais do cobre, recessão e crises econômicas externas e pela insuficiência de oferta doméstica. No biênio 1999-2000, as importações de concentrado de cobre, oriundas do Chile e do Peru, tiveram uma queda de 16,4%, justificada pela alta dos preços internacionais do cobre. O país mais recente a entrar para o grupo de países importadores foi a China. A tabela 6 mostra os principais países consumidores de cobre refinado (ANDRADE, 1997).

Tabela 6 - Consumo Mundial de Cobre refinado entre 1996 e 2000

Países	1996	1997	1998	1999	2000
Ásia (incluindo a China)	4.798	5.082	4.924	5289	5634
Europa	3.345	3.533	3.780	3.812	4.213
América do Norte	2.840	2995	3.134	3.261	3.360
América Latina	618	702	793	943	990
Oceania	190	162	156	160	159
África	115	118	126	130	132
Demais	522	634	577	509	479
Refinado no Mundo	12.428	13.226	13.490	14.108	14640
Sucata Manufaturada	3.172	3.295	3.194	3.100	3.150
Total Mundial	15.600	16.521	16684	17.208	17.790

Fontes: Mineral Commodity Summaries, USGS e World Metal Statistics.

Através da Tabela 6 é possível observar o aumento crescente do consumo de cobre no mundo todo, sem grandes alterações do volume de sucata manufaturada o que nos induz a concluir que haja uma baixa reciclagem deste material. Observa-se também que a região que mais consome é a Ásia (incluindo a China) e a que menos consome é a Oceania.

3.5.1.6. Métodos de Extração

Apesar de ser um dos metais menos abundantes da crosta terrestre, o cobre é de fácil obtenção apesar de laboriosa, devido à pobreza do metal nos minerais; se considera economicamente viável extraí-lo de um mineral com quantidades superiores a 0,5% de cobre e muito rentável a partir de 2,5%. O

cobre nativo só acompanha seus minerais em bolsas que afloram na superfície podendo-se explorá-lo a céu aberto. Ainda que não tenham muita importância como minas, tem-se encontrado exemplares notáveis como pedras de cobre de 400 toneladas em Michigan (EUA). Geralmente na capa superficial são encontrados minerais oxidados (cuprita) junto ao cobre nativo em pequenas quantidades, o que explica a sua utilização milenar já que o metal podia facilmente ser extraído em fornos de fossa. Na continuação, por debaixo do nível freático, são encontradas as piritas (sulfetos) primárias, calcosina (S_2Cu) e covelina (SCu) e, finalmente, as secundárias calcopiritas (S_2FeCu) cuja exploração é mais rentável que as anteriores. Acompanhando estes minerais se encontram outros como a bornita (Cu_5FeS_4), os cobres cinzas, os carbonatos azurita e malaquita que formam massas importantes nas minas de cobre por serem as formas normalmente derivadas dos sulfetos. A produção do cobre começa com a extração do mineral. Esta pode ser realizada a céu aberto (a exploração mais comum), em galerias subterrâneas ou in situ; este último procedimento, minoritário, consiste em filtrar ácido sulfúrico na mina de cobre bombeando, posteriormente, para a superfície as soluções ácidas ricas em cobre. O mineral pode ser extraído por métodos mecânicos, nos quais os óxidos e sulfetos são triturados obtendo-se um pó que contém usualmente menos de 1% de cobre. Este deverá ser enriquecido ou concentrado obtendo-se uma pasta com aproximadamente 15% de cobre que, posteriormente, é seco. A partir deste ponto podem-se utilizar outros métodos (ANDRADE, 1997).

3.5.1.7. Processamento Mineral

O processamento mineral ou tratamento de minérios consiste de uma série de processos que têm em vista a separação física dos minerais úteis da ganga (a parte do minério que não tem interesse econômico e que é rejeitada) e a obtenção final de um concentrado, com um teor elevado de minerais úteis. Os métodos utilizados podem ser físicos ou químicos. O cobre é o metal não ferroso mais utilizado, depois do alumínio, por ser um excelente condutor de eletricidade e calor. A indústria de cobre primário se organiza em torno de

quatro tipos de produtos, originados em etapas distintas dos processos de extração, fundição e refino, os quais estão relacionados a seguir (FIGUEIREDO, 2000).

- Minério de cobre: corresponde ao mineral extraído da mina, cujo conteúdo oscila entre 0,7% e 2,5% de cobre;
- Concentrado de cobre: corresponde ao minério de cobre que, através de um processo de moagem das rochas e mistura com água e reagentes passam a apresentar entre 30% e 38% de cobre fino;
- Cobre fundido: corresponde aos concentrados que, por meio de processos pirometalúrgicos, se transformam no chamado cobre blister (98,5%) e, posteriormente, no anodo de cobre, cujo teor é de 99,7% de cobre;
- Cobre refinado: corresponde aos anodos e às soluções (no caso da lixiviação) que são refinados por processo de eletrólise, resultando nos catodos, com pureza de 99,9% de cobre. Em relação ao cobre secundário, podem-se citar dois tipos principais de sucata:
 - Sucata para refino - é a sucata industrial de processo, assim como a sucata comprada de terceiros no mercado, necessitando processamento de refino;
 - sucata para uso direto - direcionada aos transformadores, sem necessidade de refino.

O cobre tem extenso uso nas indústrias de fios e cabos elétricos, que absorve mais de 50% desse metal, sendo o restante utilizado em ligas especiais, tubos, laminados e extrudados. Existem dois processos básicos de produção de cobre primário: o processo pirometalúrgico, mais utilizado para os minérios sulfetados, e o processo hidrometalúrgico, apropriado para a extração de cobre de minérios oxidados de baixo teor.

Processo Pirometalúrgico: A indústria de transformação do cobre tem início a partir do minério, cuja extração se dá a céu aberto ou em galerias subterrâneas. Com um teor metálico que varia normalmente entre 0,7% e 2,5%, o minério é submetido à britagem, moagem, flotação e secagem, obtendo-se o concentrado cujo teor de cobre contido já alcança 30%. O

concentrado é então submetido ao forno flash, de onde sai o mate com teor de 45% a 60%, e este ao forno conversor de onde obtêm-se o blister com 98,5% de cobre. Dependendo da pureza desejável para o cobre, tendo em vista a sua utilização final, o blister pode ser submetido apenas ao refino a fogo, onde se obtém cobre com 99,7% (anodo) ou ser também refinado eletroliticamente, atingindo um grau de pureza de 99,9% (catodo). Os catodos são submetidos ao processo de refusão para obtenção do cobre no formato de tarugos ou placas. A partir da trefilação destes tarugos, produz-se os semi-elaborados de cobre nas formas de barras, perfis e tubos e através da laminação das placas, são produzidos semi-elaborados nos formatos de tiras, chapas e arames. Se, entretanto, ao invés da simples refusão o catodo for fundido e laminado em processo contínuo obtém-se o vergalhão, a partir do qual serão fabricados os fios e cabos (FIGUEIREDO, 2000).

Processo Hidrometalúrgico: A hidrometalurgia é apropriada, principalmente, para a extração de cobre de minérios oxidados de baixo teor. A utilização deste processo para minérios sulfetados implica em uma etapa anterior de beneficiamento do minério para obtenção do concentrado sulfetado, o qual deve sofrer processo de ustulação para transformação em produto intermediário oxidado. O processo hidrometalúrgico consiste, em linhas gerais, em lixiviar o minério moído com solventes adequados, sendo o mais utilizado o ácido sulfúrico, obtendo-se soluções ricas em cobre. Segue-se a filtração da solução e a precipitação do metal através de concentração (utilizando-se ferro), de aquecimento ou por eletrólise. No caso da eletrólise, promove-se a eletrodeposição do cobre sob a forma de catodos com 99,9% de pureza a partir das soluções ricas. Trata-se do processo SX-EW (solvent extraction and electrowinning).

3.5.1.8. Importância do metal para Engenharia de Materiais

O cobre, devido as suas propriedades, tem mostrado-se muito útil e aplicativo na área da engenharia de materiais, uma vez que por suas características pode ser utilizado na obtenção de novos tipos de materiais contendo este metal, melhorando as propriedades dos novos produtos. Dentre as principais aplicações do cobre, temos fios e cabos condutores de transmissão de energia, circuitos impressos, medalhas, painéis, hélice para navios, sinos, construção civil, tubos e registros, dentre outros. As características principais do cobre são: sua alta condutividade térmica e elétrica, resistência à corrosão, alta trabalhabilidade (podem atingir 90% de deformação sem recozimentos intermediários) e aspectos adequados para aplicações arquitetônicas e decorativas. O cobre pode também ser combinado na forma de ligas, onde elementos de liga são adicionados ao metal com o intuito de melhorar a resistência, a ductilidade e a estabilidade térmica, sem causar prejuízos à formabilidade, condutividades elétricas e térmicas e resistência à corrosão característicos do cobre. As ligas de cobre apresentam excelente ductilidade a quente e a frio, ainda que um pouco inferiores às do metal puro. Todas essas características conferem a este metal aplicações em diversas áreas, entre elas, a de engenharia de materiais, a qual irá combinar fatores característicos do cobre na sua utilização em materiais visando uma melhora nas propriedades, bem como uma redução no custo do processamento e uma maior durabilidade e aplicações do novo material.

3.5.1.9. Geração da Escória de Cobre

Em nível mundial, estima-se que a geração anual de escória de cobre é em torno de 13.000.000 toneladas (PROCOBREBRASIL, 2000). Deste total, cerca de 2,5 milhões de toneladas são geradas anualmente na América do Sul.

Nos Estados Unidos é gerado mais de 1 milhão de toneladas (ARIÑO e MOBASHER, 1999). Na Figura 8 está apresentado o gráfico com os maiores geradores de escória no mundo (SINDICEL, 2000).

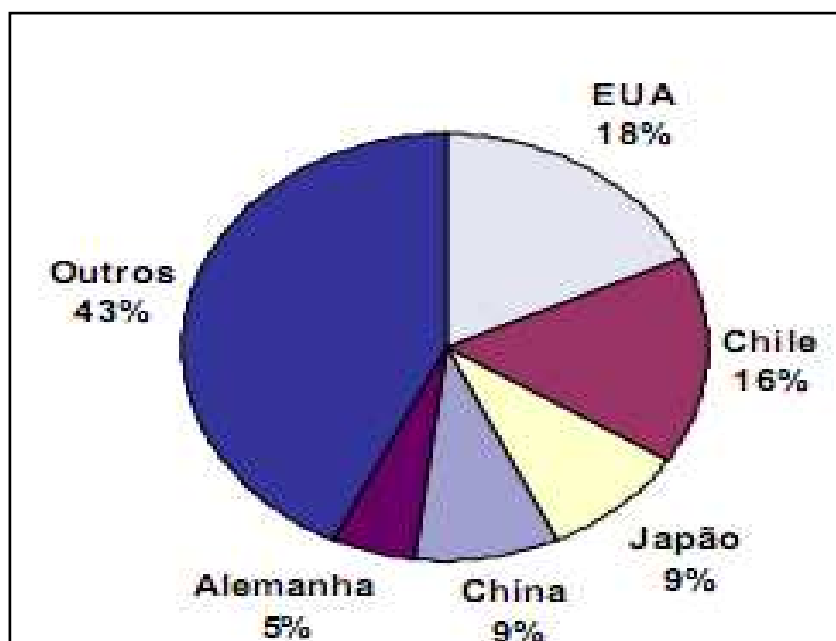


Figura 8- Maiores geradores de escória de cobre, no Mundo.

(SINDICEL, 2000)

No Brasil, o beneficiamento do cobre é realizado por diversas empresas como VALE empresa situada no Pólo de Carajás, no Pará. A Figura 9 ilustra as quantidades de escória de cobre geradas no Brasil, nos últimos anos.

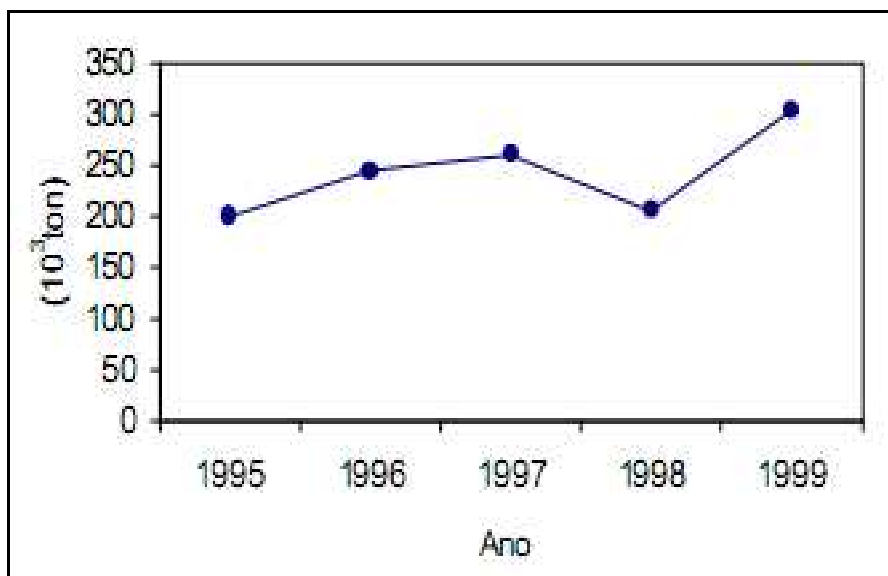


Figura 9- Geração de escória de cobre no Brasil

Estima-se que só a mina do Sossego serão descartados todos os anos mais de 13 milhões de toneladas de material estéril, dos quais 1,5 milhão conterão produtos químicos tóxicos. A figura 10 mostra a barragem de rejeito da mina do sossego no Pará.



Figura 10 – Barragem de rejeito mina do sossego

A barragem de rejeitos da Mina do Sossego é uma estrutura bastante extensa devido à suave topografia local. Possuirá cerca de 5.200m de extensão e 57m de altura na configuração final, após o último alteamento, na

cota 265. O volume total da barragem após os três alteamentos previstos é de 130x106 m³ de rejeitos, além de água armazenada para o processo produtivo. O maciço da barragem está atualmente na cota 241,8m e o lançamento dos rejeitos é feito a partir de tubulações de PAD na cota 250.

A barragem de rejeito da mineração serra do sossego tem como objetivo acomodar o rejeito originado do processo de beneficiamento do cobre e garantir um volume de água mínimo no reservatório, suficiente para atender a demanda de água para a usina, sendo chamada de água de processo. De acordo com o projeto, 93% da água deve ser recirculada.

3.5.1.10 Utilizações da Escória de Cobre

Através de levantamento bibliográfico realizado, verificou-se que são muito poucos os trabalhos publicados a respeito da utilização de escória de cobre. Foi feita uma consulta através do PROCOBREBRASIL (2000), e a informação que se tem é que praticamente todo volume de escória gerado é depositado nos pátios das metalúrgicas geradoras. Uma pequena quantidade vem sendo utilizada como abrasivo em alguns países como Singapura e Tailândia. Também no Chile, que é o segundo maior produtor de cobre do mundo, a escória vem sendo depositada a céu aberto e um pequeno volume vem sendo comercializada como abrasivo.

No Canadá, 45% do uso de escória é como base para construção, lastro de ferrovias e aterros. Nos Estados Unidos, que é o maior produtor mundial de cobre, a escória praticamente não é utilizada. Muito pouco é reciclado em base de rodovias. Entretanto, alguns estudos vêm sendo realizados no sentido de viabilizar a sua utilização. No Brasil, praticamente todo o volume gerado é depositado numa área da usina, formando imensas pilhas de escória.

Em 1993 foi iniciado, na Universidade Estadual de Feira de Santana - UEFS, com o apoio da Caraíba Metais, um estudo com o objetivo de verificar

possíveis aplicações da escória de cobre na construção civil. Foram realizados ensaios de caracterização da escória de cobre e misturas com vistas a sua utilização como agregado miúdo para concreto e argamassa, mistura betuminosa pré-misturada a frio, base para pavimentação e colchão drenante. Entretanto, devido a algumas limitações dos laboratórios da UEFS, naquele período, o estudo ficou restrito a características físicas e mecânicas.

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, reticulada com estireno adquirida no comércio local. Utilizou-se como iniciador o Peróxido de Metil-Etil-Cetona (MEK-P) em concentração de 1% em peso. O resíduo de cobre estudado é oriundo da mineradora VALE empresa situada no Pólo de Carajás, no Pará.

4.2. Tratamentos do Resíduo de Cobre

O mesmo foi peneirado até a obtenção de uma granulometria inferior a 0,045 mm (figura 11). Após o peneiramento, foram secos em estufa a 100°C, por 2 horas.



Figura 11 – Aspectos do rejeito de cobre

4.3. Processamento dos Compósitos de Poliéster e Resíduo de Cobre

O processamento do compósito foi realizado por meio de moldagem á compressão. Os teores de rejeito de cobre utilizados foram determinados por

análise gravimétrica. Determinou-se o teor de rejeito (em massa) da seguinte forma:

$$T_R (\%) = (P_T/P_L) \times 100$$

Onde T_R é o teor de rejeito, P_T é o peso (g) do rejeito e o P_L é o peso (g) da resina. Na tabela 7 estão os pesos da resina e do resíduo.

Tabela 7 - % em massa do resíduo.

Peso Resina	Peso Resíduo	% em massa do Resíduo
126.016g	14.016g	10.00
120.029g	30.017g	20.00
120.001g	80.002g	40.00
120.454g	148.185	55.161
100.288g	186.882g	65.077

As placas de compósito foram confeccionadas misturando-se manualmente a resina com o rejeito de cobre e o catalisador MEK-P até que uma massa homogênea fosse obtida. A Figura 12 mostra a sequência do procedimento de mistura do compósito.

O molde utilizado na confecção dos corpos de prova (Figura 13) foi untado com cera de polimento automobilístico para auxiliar à desmoldagem. A mistura resina/rejeito foi colocada no molde, quando a mistura estava próxima do ponto de gelificação o molde foi fechado e colocado em uma prensa hidráulica com 6 toneladas de força de fechamento por 6 horas, a temperatura ambiente. As placas obtidas foram submetidas a pós-cura por 48 horas a 50 °C, para posterior usinagem dos corpos de prova.

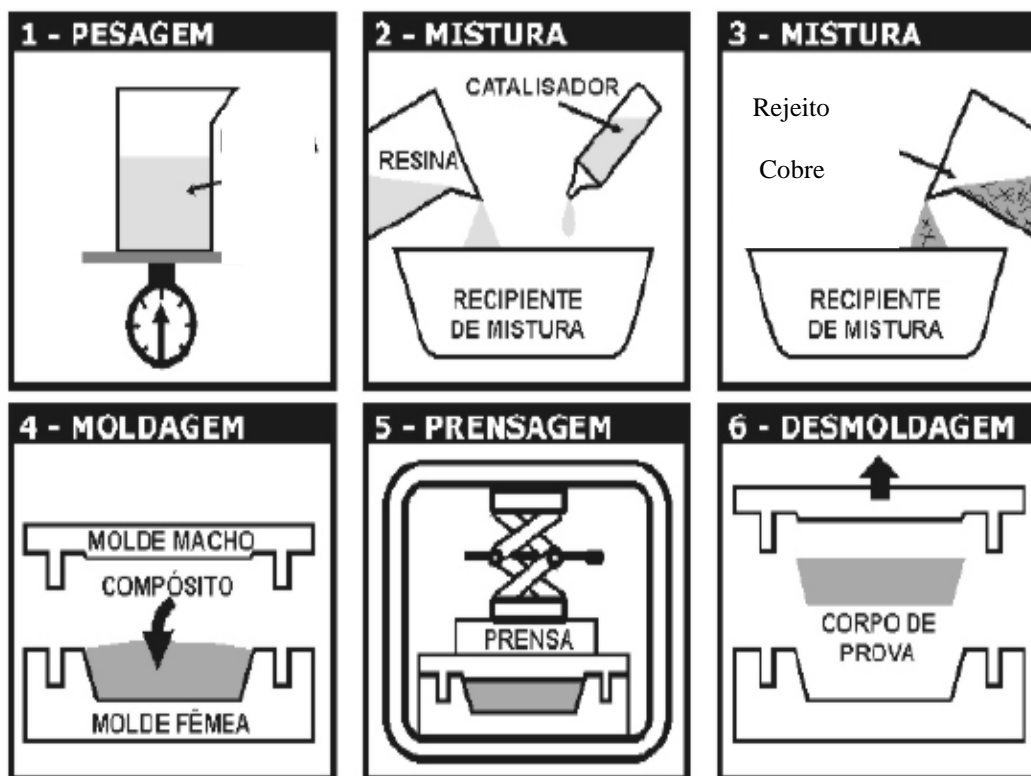


FIGURA 12 – Seqüência do procedimento de mistura do compósito e de fabricação dos corpos de prova baseado em (OWENS CORNING, 2001 e 2004; SAINT-GOBAIN, 2004)



Figura 13. Molde metálico utilizado para confecção dos compósitos.

Foram feitas seis placas com diferentes porcentagens de rejeito de cobre. As placas já moldadas mostraram imperfeições, com espaços vazios em seu interior, em algumas regiões da placa. Essas falhas são explicadas devido a não homogeneidade das misturas. A Figura 14 mostra algumas placas obtidas em diferentes composições. Após a etapa de prensagem das placas foi confeccionado os corpos de prova para a realização dos ensaios mecânicos.

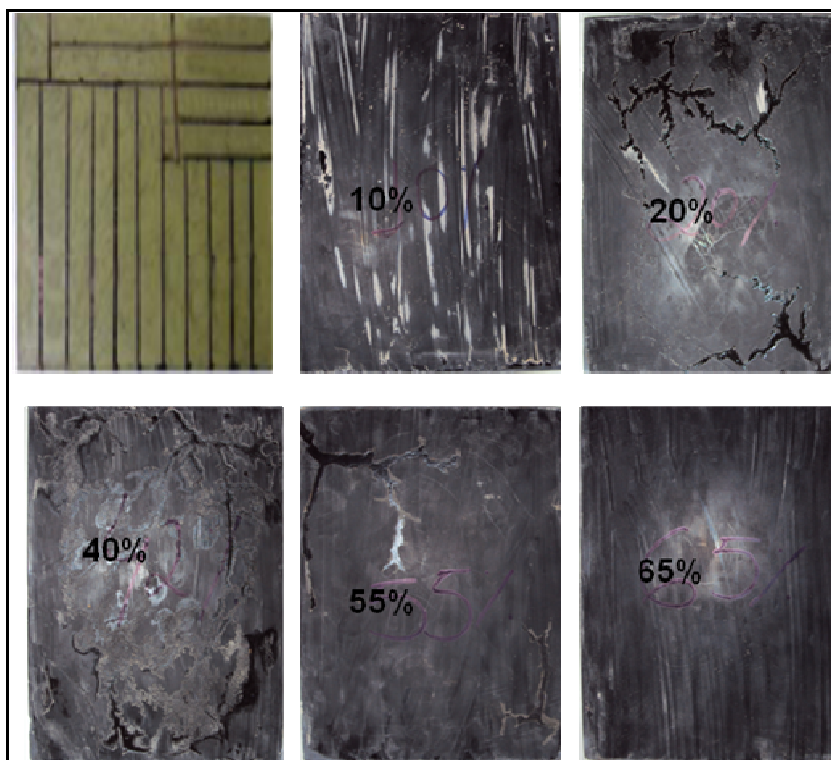


Figura 14. Placas de compósitos com diferentes teores de rejeito de Cobre.

4.4. Confecção dos Corpos de Prova

Os corpos de prova foram serrados manualmente a partir das placas produzidas por compressão passaram por processo de desbaste e acerto dimensional destinado à regularização das dimensões, cinco corpos de prova de cada amostra foram utilizados para os ensaios como mostra a Figura 15.

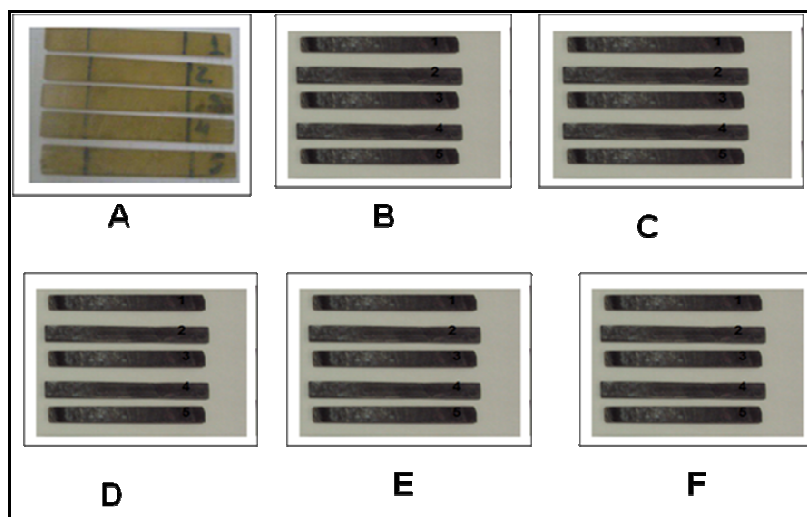


Figura 15: Corpos de prova. A) resina pura; B) amostra 10%; C) amostra 20%; D) amostra 40%; E) amostra 55%; F) amostra 65% de rejeito de cobre.

4.5 Ensaios Mecânicos

Para avaliação da influência do teor de rejeito de cobre nas propriedades mecânicas foram realizados ensaios mecânicos de tração, flexão e microdureza.

4.5.1 Tração

Os compósitos foram analisados em uma máquina universal EMIC DL1000 com carga de 10KN, equipado com garras pneumáticas, sob velocidade de 1mm/min. Foram analisados para cada compósito o mínimo de 5 corpos de prova, com dimensões de acordo com a norma ASTM D-3039, com 12,7mm de largura, 110mm de comprimento e 2,7mm de espessura. A resistência à tração, alongamento e módulo de elasticidade em tração foi determinada.

4.5.2 Flexão

Para esse ensaio também foi utilizado máquina universal EMIC DL1000 com carga de 10KN, através do qual uma carga é exercida sobre o corpo de prova à velocidade de 20mm/min. Foram analisados no mínimo 5 corpos de prova, com dimensões de acordo com a norma ASTM D 790, com 12,7mm de largura, 80mm de comprimento e 2,7mm de espessura. O método de análise de flexão adotado foi o de 3 pontos. A resistência à flexão e módulo de elasticidade em flexão foi determinada.

4.5.3 Microdureza Vickers

O ensaio de microdureza Vickers foi realizado com a finalidade de determinar a dureza do compósito poliéster-resíduo de cobre. Foram feitas 4 indentações em um durômetro modelo Micromet 2100 Series-Microhardness testers, fabricante Buehler para o caso da medida da dureza. O tempo de aplicação de cada indentação foi de 10 segundos com uma carga de 9,8N. Os ensaios foram feitos segundo a norma ASTM C 1327-99.

5.RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 ENSAIO DE TRAÇÃO

Na Tabela 8 estão reunidos os dados do ensaio de tração para as seis placas de compósitos desenvolvidos. Os dados da tabela a seguir foram dispostos em gráficos para uma melhor compreensão dos resultados obtidos .

Tabela 8- Propriedades mecânicas dos compósitos com reforço.

Teor de Rejeito de Cobre (%)	Resistência a Tração (MPa)	Módulo de Young (GPa)	Alongamento na Ruptura (%)
0	23,70	2,13	1,27
10	7,28	1,29	0,45
20	9,05	1,82	1,20
42	9,72	1,90	1,27
55	9,81	2,02	1,37
65	13,32	2,33	1,55

A Figura 16 apresenta os resultados dos ensaios de resistência atração em função do teor de rejeito de cobre para a matriz de poliéster. De modo geral, os compósitos apresentaram uma resistência muito baixa se comparados com compósitos de matriz de poliéster.

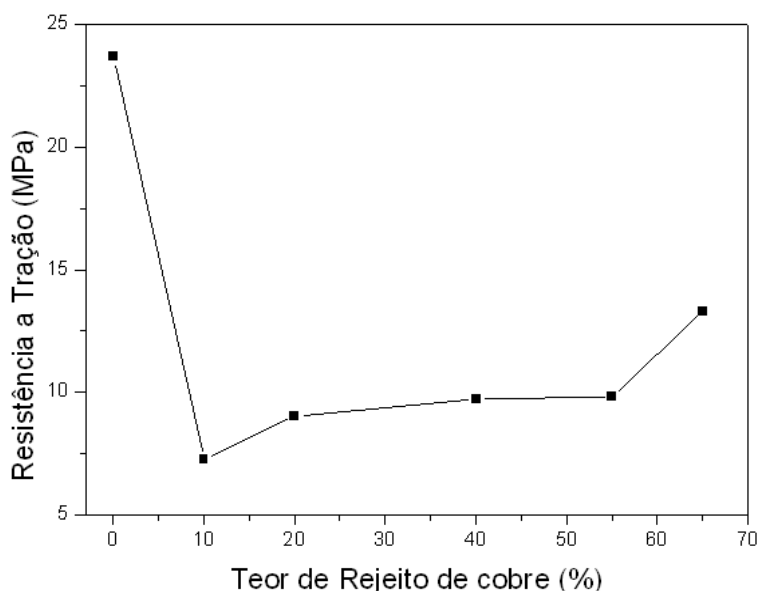


Figura 16. Resistência à tração dos compósitos em função do teor de Rejeito de Cobre.

A inclusão do rejeito de cobre não alterou, no geral, a resistência à tração da matriz, em relação à resina pura, a razão para este fato está associada defeitos superficiais, heterogeneidade na distribuição, tamanho e morfologia das partículas de rejeito de cobre na matriz de poliéster. Foram encontrados defeitos superficiais no material, os quais são fatores concentradores de tensões. A heterogeneidade torna um fator negativo do reforço pelo qual essas partículas atuam na matriz, certamente a morfologia das partículas agem como fatores deletérios à resistência do compósito corroborando com o resultado.

Os resultados obtidos para o módulo de Young ou módulo de elasticidade, podem ser observados na Figura 17. Para as amostra de 10 a 55% houve uma acentuada queda do módulo de elasticidade quando comparado às propriedades da resina pura, com 65% de massa de rejeito de cobre verifica-se um leve aumento no módulo de elasticidade. Tal ocorrência é explicada pelo fato das partículas diminuïrem o movimento livre das cadeias poliméricas e também por apresentar maior rigidez que a matriz, resultando num aumento do módulo de elasticidade do compósito com o teor de 65%.

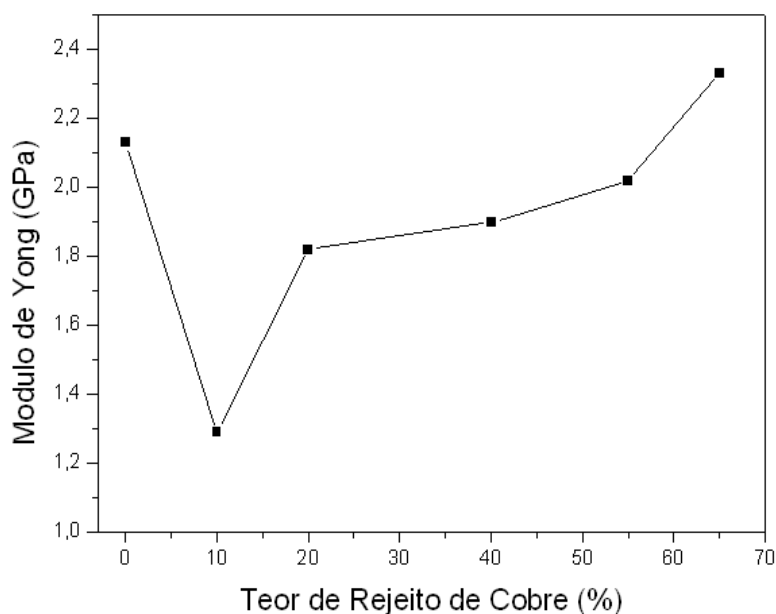


Figura 17. Módulo de Young do compósito em função do teor de rejeito de Cobre.

Na Figura 18 podemos perceber que a incorporação do rejeito de cobre na matriz poliéster provocou uma diminuição no alongamento do compósito para os teores de 10, 20 e 40 % em massa e mostrou-se maior que a da matriz pura para os teores de 55 e 65%. O aumento percentual observado foi de 0,28%, podendo-se atribuir este resultado a pequena adesão rejeito-matriz e ao ligeiro aumento da tenacidade do compósito.

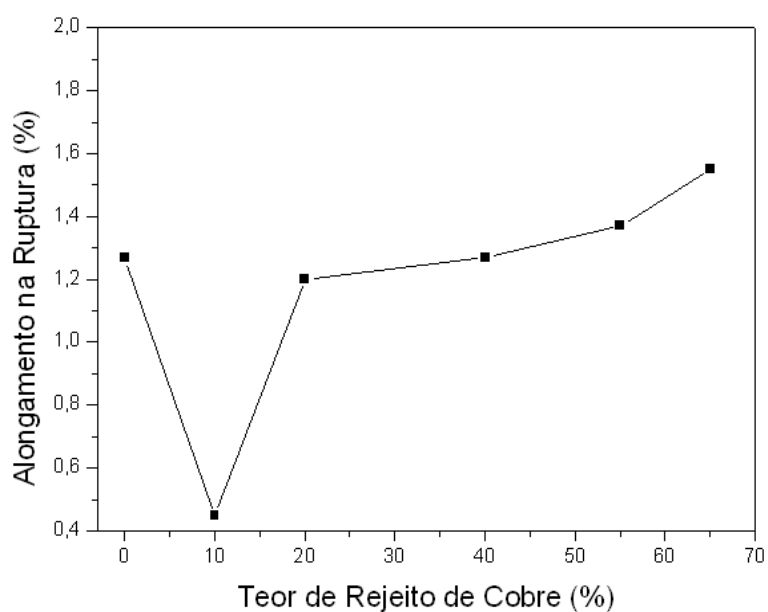


Figura 18. Alongamento na ruptura dos compósitos em função do teor de rejeito de Cobre.

5.2 ENSAIO DE FLEXÃO

De acordo com a Figura 19 a resistência à flexão do compósito reforçado com 10% apresentou valor inferior ao do material não reforçado. Isto pode ser devido à menor fração volumétrica de reforços presentes neste material, que pode ter funcionado como defeitos localizados na matriz. Nota-se que a resistência à flexão aumentou com 40% em massa de reforço. A adição de 65% em massa de rejeito de cobre como reforço ao poliéster aumentou a resistência à flexão do material em 0,17% esse pequeno aumento pode ser explicado pelo aumento no número de barreiras para movimentação de discordâncias.

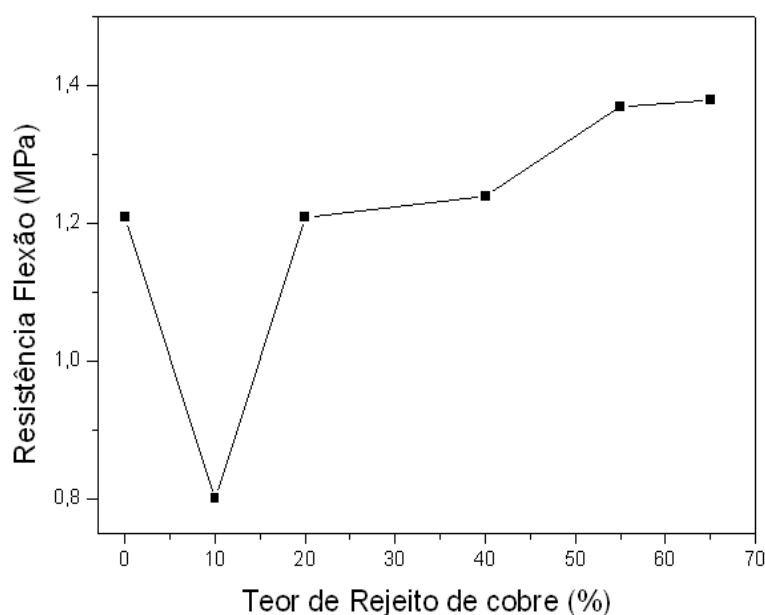


Figura 19. Resistência a Flexão dos compósitos em função do teor de rejeito de cobre

O módulo elástico dos compósitos apresentou um crescimento nos resultados à medida que aumenta a incorporação do resíduo de cobre na matriz, como pode ser observado na Figura 20. A adição de 65% em massa de rejeito de cobre como reforço ao poliéster aumentou significativamente o módulo de elasticidade do material. O valor médio apresentado por este compósito foi de 167,8 MPa, um aumento de 130,96% no valor médio do poliéster sem reforço. Aumentando a rigidez diminuindo a elasticidade do

compósito, indicando que o resíduo de cobre é bastante eficaz na melhoria da propriedade de módulo de elástico do poliéster.

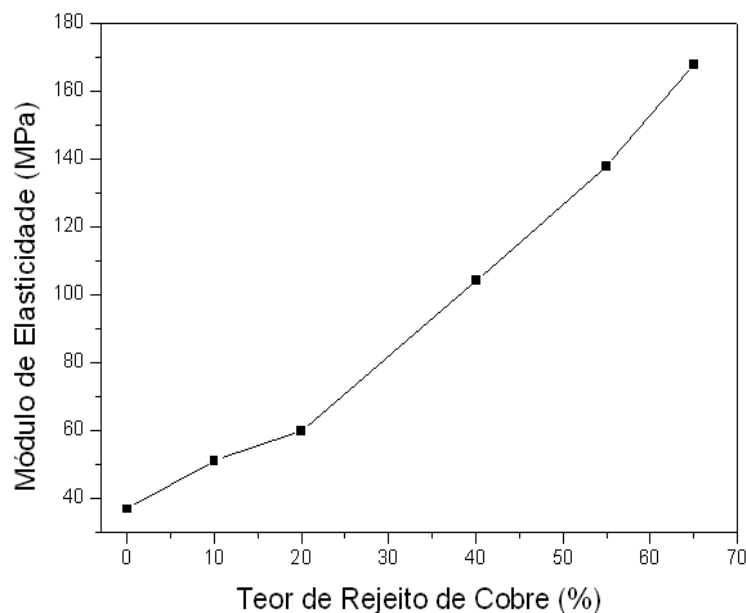


Figura 20. Módulo de Elasticidade compósito em função do teor de rejeito de Cobre.

5.3 ENSAIO DE MICRODUREZA VICKERS

Os valores encontrados no ensaio de microdureza Vickers podem ser considerados satisfatórios se comparados ao da matriz sem reforço, por terem apresentado uma diferença estatisticamente significativa entre as matrizes (Figura 21).

Observou-se que ocorreu um aumento da resistência a endentação à medida que aumentou a porcentagem de rejeito de cobre. De uma forma geral, observa-se que a dureza tem uma relação direta com a quantidade de rejeito de cobre adicionada à matriz, ou seja, quanto maior a quantidade de rejeito, maior a dureza.

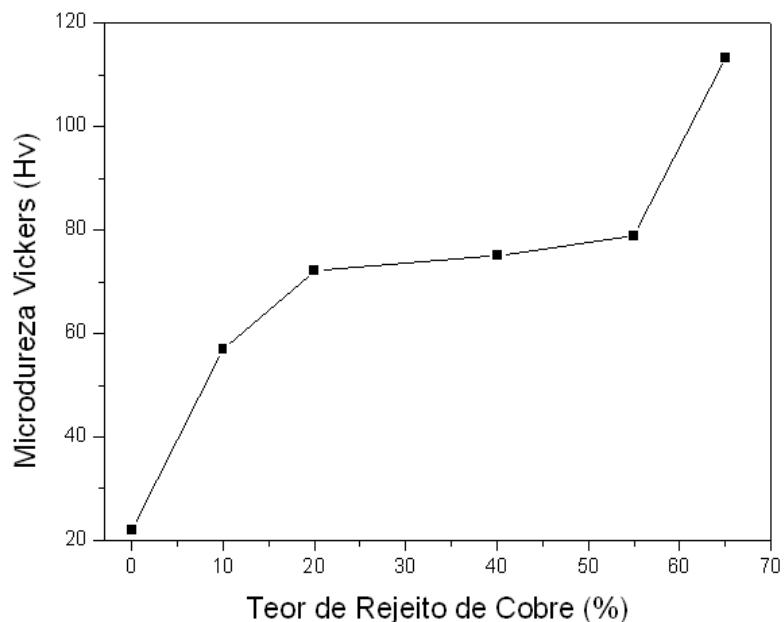


Figura 21. Microdureza dos compósitos em função do teor de rejeito de cobre

Ao realizar o ensaio de microdureza Vickers, foi possível verificar que o compósito de 65% em massa de rejeito de cobre apresentou valores mais elevados de dureza 91,35% maior do que o da matriz sem reforço. O valor da dureza influencia na resistência ao desgaste e a deterioração superficial do material. Porém, elevadas durezas implicam em boa resistência ao risco e desgaste, entretanto acarretam maior dificuldade de usinagem.

Partícula, por definição, possui pequenas dimensões e não obedece a razão de aspecto mínima para ser tomada como fibra. Como já mencionado, a característica de reforço do compósito é fortemente dependente da característica geométrica dos seus componentes, com exceção da matriz. A resistência do material compósito é mais eficientemente incrementada utilizando materiais de reforço na forma de fibras ao invés de partículas. De modo geral, as partículas no material compósito aumentam a rigidez do mesmo, porém, não contribuem consideravelmente para o aumento da sua resistência (AHMED, 1990).

No entanto, quando outras propriedades de aplicação do componente de Engenharia, além da resistência mecânica e da rigidez, são importantes, os

componentes particulados podem ser utilizados de forma eficiente na otimização das mesmas. Materiais particulados são utilizados para modificar propriedades térmicas, elétricas, características de usinagem, dureza superficial, propriedades de atrito e desgaste (AHMED, 1990).

6. CONCLUSÃO

O estudo sobre a resistência mecânica de compósitos incorporados com diferentes percentuais de massa de rejeito de cobre em matriz de poliéster evidencia que:

. A adição de 65% em massa de rejeito de cobre como reforço ao poliéster proporcionou melhor desempenho do compósito quanto às propriedades mecânicas de tração, flexão e microdureza Vickers.

Os compósitos processados apresentaram um aumento na dureza, quando comparados ao poliéster puro.

O ensaio de tração, por sua vez, mostrou que o rejeito não influenciou significativamente nas propriedades mecânicas da resina na presença de uma carga de tração. Assim a adição das porcentagens do rejeito de cobre fez com que alguns parâmetros de resistência mecânica ficassem mais baixo que os da resina pura.

Por outro lado também houve aumento da rigidez do compósito em relação à resina pura para o ensaio de flexão, permitindo concluir que o rejeito de cobre se comporta como carga e também como reforço para plásticos reforçados.

Sendo assim, sugere-se a utilização dos compósitos produzidos em aplicações, onde seja necessário elevada dureza superficial.

.

SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Realização de ensaios de impacto e absorção seguindo os procedimentos do presente trabalho para uma comparação mais precisa de resultados.

Ensaio de propriedades mecânicas com outras proporções em volume de rejeito de cobre para que seja determinada a quantidade ideal de reforço.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABAD, M. J., BARRAL, L., CANO, J. L., NOGUEIRA, P., RAMÍREZ, C., TORRES, A., 2001 "Thermal decomposition behavior and the mechanical properties of an epoxy/cycloaliphatic amine resin with ABS", *European Polymer Journal*, v. 37, pp. 1613- 1623.

ANDRADE, M. L. Indústria do cobre, Agosto de 1997. Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo, Universidade de São Paulo, (Dissertação de Mestrado).

AHMED, S.; JONES, F.R.; A Review of particulate Reinforcement Theories for polymer composites; *Journal of materials science*, vol 25, pgs. 4933-4942; 1990

BARD, G.N. Recuperação de ouro, prata e cobre de lama anódica proveniente do refino eletrolítico de cobre, I Jornada do Programa de Capacitação Interna CETEM, 1999.

BENITO, J. G., 2003, "The nature of structural gradient in epoxy curing at a glass fiber/epoxy matrix interface using FTIR imaging", *Colloid and Interface Science*, v. 267, pp. 326-332.

CALLISTER, Jr., 2008, *Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução*, ed. 5, Rio de Janeiro, LTC

CARVALHO, José Vitório de. Aproveitamento de resíduos particulados da madeira de eucalipto grandis na fabricação de compósitos à base de cimento portland. UNICAMP Campinas - SP. 2000. Dissertação de mestrado.

CINCOTTO, M.A Utilização de subprodutos e resíduos na indústria da construção civil. In: *Tecnologia da edificação*, São Paulo, 1998.

CIMINELLI, R. R. Critério para a formulação de cargas e reforços minerais em termoplásticos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO PLÁSTICO REFORÇADO, 5., 1988, São Paulo. Anais. São Paulo: Associação Brasileira de Plástico Reforçado, 1988. p.71-73.

COSTA, M. L.; REZENDE, M. C.; PARDINI, L. C. Estudo da influência do diluente reativo PGE na cinética de cura de resina epóxi utilizada em compósitos estruturais, *Química Nova*, v. 23, n. 3, p. 320-325, 2000.

CHIKHI, N., FELLAHI, S., BAKAR, M., 2002, "Modification of epoxy resin using reactive liquid (ATBN) rubber", *European Polymer Journal*, v.38, pp. 251-264.

ENBRI. Development of a framework for environmental assesement of building materials and compnents. Mimeo, 1994.

FERRANTE, MAURIZIO, 2002, Seleção Materiais, ed. 2, São Carlos, EdFSCar, p. 255-274

FIGUEIREDO, B.R. Minérios e ambiente. Campinas, SP: Editora da Unicamp, 2000. 401p.

GIBSON R. F., 1994, *Principles of Composite Material Mechanics*. 1 ed. New York, Mc Graw Hill.

ISABEL, TRANNIN. Laboratório de Mineralogia aplicada aos Materiais, 1º Estudo dirigido Cobre, Agosto 2003. Universidade de São Paulo, (Dissertação de mestrado).

JANAINA, L. L. Processamento e caracterização de Compósitos, Formados por Resina Fenólica e Fibras de Bagaço de Cana como Reforço. 2002. Dissertação (Mestrado em Ciências e Engenharia de Materiais). Programa de Pósgraduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade de Federal de Santa Catarina.

JOHN, V. M. Cimentos de escória ativada com silicatos de sódio: construção e desenvolvimento sustentável, Qualidade na construção. Tese (Doutorado). EPUSP, São Paulo, 1995.

LAPIQUE, F., REDFORD, K., 2002, "Curing effects on viscosity and mechanical properties of a commercial epoxy resin adhesive", *International Journal of Adhesion & Adhesives*, v. 22, pp. 337-346.

LIMA, A. B. T. Aplicações de Cargas Minerais em Polímeros. São Paulo: Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo, Universidade de São Paulo, (Dissertação de Mestrado), 2007.

LIONETTO, F., RIZZO, R., LUPRANO, V. A. M., MAFFEZZOLI, A., 2004, "Phase transformation during the cure of unsaturated polyester resins" *Materials Science & Engineering A*, v.370, pp. 284-287.

MARGOLIS, J. M., 1986, "Properties and performance requirements" in *Advanced Thermoset Composite Industrial and Commercial Applications*, New York, Ed. Van Nostrand Reinhold, pp. 74-107.

PAIVA, J. M. F. de. *Compósitos Lignocelulósicos: Matrizes Poliméricas de Resina Reforçadas com Fibras de Bagaço de Cana-de-açúcar*. 1997. Dissertação (Mestrado em Ciências e Engenharia de Materiais). Instituto de Química de São Carlos (Área Interunidades), Universidade de São Paulo.

PAIVA, J. M. F. de; TRINDADE, W. G.; FROLLINI, E. *Compósitos de matriz termofixa reforçada com fibras vegetais*. In: Congresso Brasileiro de Polímeros, 5, 1999, Águas de Lindóia, SP. *Anais do 5o Congresso Brasileiro de Polímeros, Águas de Lindóia, SP: Abpol, 1999. CD-ROM.*

PILATO, L. A., MICHNO, M. J., 1994, *Advanced Composite Materials*, New York, Springer-Verlag.

PROCOBREBRASIL. Site do Instituto Brasileiro do Cobre, disponível na *internet* www.procobrebrasil.org.br Consultado em maio de 2010

REDIGHIERI, K. I., *Estudo de Compósitos de Partículas de Madeira e PEBD Reciclado na Presença de Agentes Compatibilizantes*, Dissertação 2006 (Mestrado em Engenharia Química) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Química, PPGEQ, DEQ/IT/UFRRJ, Rio de Janeiro.

SHIM, M. J., KIM, S. W., 1997, "Cure reaction and mechanical properties of DGEBA/MDA/nitrile system", *Materials Chemistry and Physics*, v. 47, pp. 198-202.

VALLE, C.E. *Qualidade ambiental: o desafio de ser competitivo protegendo o meio ambiente*. São Paulo, 1995.

VAN VLACK, L. H. *Princípios de Ciências e Tecnologia dos Materiais*. 4 ed. Rio de Janeiro, RJ: Editora Campus, 1984. ZHOU, J., LUCAS, P. J., 1995,

KHAN M. Z. S., SIMPSON G., TOWNSEND C. R., 2002, "A comparasion of the mechanical properties in compression of two resin systems", *Materials Letters*, v. 52, pp. 173-179.

<http://www.spsystems.com> - acesso em 16 de abril setembro de 2010.

http://www.cetem.gov.br/publicacao/cetem_sed_69_p.pdf - acessado em 17 de abril de 2010

<http://pt.shvoong.com/exact-sciences/chemistry/1404568-cobre-parte-ii> -
acessado em 19 de abril de 2010

<http://pt.shvoong.com/exact-sciences/chemistry/1404480-cobre-parte> -
acessado em 19 de abril de 2010

https://sistemas.dnpm.gov.br/publicacao/mostra_imagem.asp?IDBancoArquivoArquivo=3982- acessado 24 abril de 2010

<http://www.spsystems.com/> (acesso em maio de 2010).

<http://www.fiec.org.br/mailclipping/clipping/noticia.asp?CodClipA=12/06/2002&CodClipB=3> - acessado em 16 de maio de 2008

<http://www.dnpm.gov.br/> - acessado em 17 de maio de 2010

www.wikipedia.com.br , - acessado em 17 de maio de 2008

www.vale.com.br , - acessado em 19 de maio de 2008

<http://www.smdh.org.br/artigos2.php?id=70>- acessado em 21/05/2010

<http://www.ibram.org.br/sites/700/784/00001362.pdf> - acessado em 23 de maio de 2010

<http://www.sindicelabc.org.br> - acessado em 26 de maio de 2010

http://www.analisecomercioexterior.com.br/comex06/produtos/rankprodut.php?acao3_cod0=4152b505fd665846dfd845a766de847f - acessado em 30 de maio de 2010 .