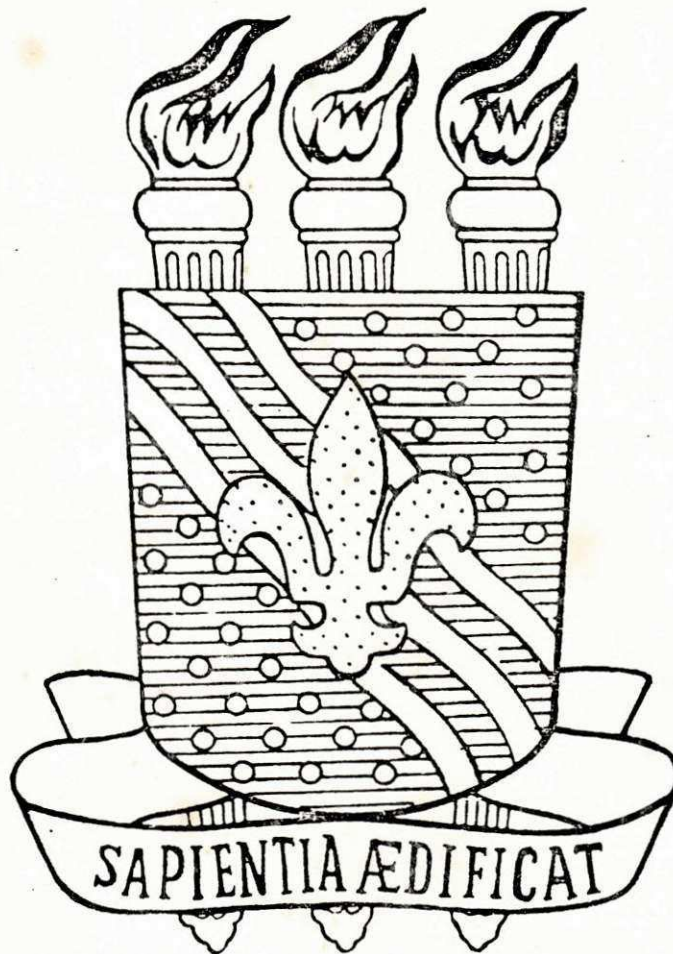


Universidade Federal da Paraíba
PRÓ-REITORIA PARA ASSUNTOS DO INTERIOR
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA



ESTÁGIO INTEGRADO
CURSO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS
PROFESSORA ORIENTADORA:
LAURA HECKER DE CARVALHO
ALUNA: SAYONARA LIRA PORTO
MATRÍCULA: 8611230-8

AV. APRIGIO VELOSO, 882 - BODOCONGO 55.100 - CAMPINA GRANDE - PARAIBA
FONE (083)321-7222 - RAMAL 430 431 - CX: 10057

ESTAGIO INTEGRADO - JULGADO EM 31 / 01 / 1992

NOTA: 8,0 (oito)

EXAMINADORES:

Laura Richard Cavalari

Maria do Socorro de Lacerda

Berenice Afonso de Sousa

Campina Grande - PB
Janeiro - 1992



Biblioteca Setorial do CDSA. Abril de 2021.

Sumé - PB

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA
CENTRO DE CIENCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUIMICA

RELATORIO FINAL
ESTAGIO INTEGRADO

TRABALHO REALIZADO POR:
SAYONARA LIRA PORTO
MATRICULA: 8611230-8

LOCAL DO ESTAGIO: UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA
LABORATORIO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS

ORIENTADORA: Prof^a LAURA HECKER DE CARVALHO

CAMPINA GRANDE - PB



DECLARAÇÃO

Declaro para os devidos fins que a aluna do curso de Engenharia de Materiais, Sayonara Lira Porto, matrícula nº 8611230/8, desenvolveu trabalho de pesquisa no Laboratório de Materiais da UFPb, intitulado " Propriedades Mecânicas de Compósitos de Polietileno/Atapulgi- ta", no período de 11/11/91 a 11/01/92, perfazendo 360 horas de trabalho experimental, válido como Estágio Integrado.

Prof. Laura Hecker de Carvalho
Coordenadora do Laboratório de Materiais
Orientadora da Aluna.

INDICE

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	ii
ABSTRACT	iii
I - INTRODUÇÃO	1
II - FUNDAMENTOS TEORICOS	3
II.1 - COMPOSITOS	3
II.1.1 - DEFINIÇÃO	4
II.1.2 - PROPRIEDADES DOS COMPOSITOS	4
II.2 - INTERFACE / MESOFASE	5
II.3 - RAZÃO DE ASPECTO	6
II.4 - HOMOGENEIZAÇÃO	6
II.5 - CARGA	7
II.5.5 - CARGA UTILIZADA - ATAPULGITA	8
II.6 - ENSAIOS	9
II.6.1 ENSAIO DE TRAÇÃO	10
III- MATERIAIS E METODOS	11
III.1 - MATERIAIS	11
III.2 - METODOLOGIA UTILIZADA	11
III.2.1 - MISTURA	11
III.2.2 - MOLDAGEM	12
III.2.3 - MODIFICAÇÃO NA ATAPULGITA	12
IV - TESTES	13
IV.1 - ENSAIO DE RESISTENCIA A TRAÇÃO	13
IV.2 - MÓDULO DE ELASTICIDADE	13
IV.3 - DUREZA	14

V - DISCUSSÃO	14
VI - CONCLUSÃO	18
VII- AVALIAÇÃO DO ESTAGIO	19
VIII- BIBLIOGRAFIA	20
ANEXO	22

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus e aos meus pais.

Ao meu marido Eg Pôrto Bezerra por me mostrar que as coisas são possíveis mesmo quando não parecem.

À prof^a Laura Hecker de Carvalho por sua orientação e confiança depositada.

Ao prof^o Marcelo Silveira Rabello pela orientação.

Agradeço a todos que direto ou indiretamente ajudaram a tornar possível esse sonho.

RESUMO

Este trabalho trata da obtenção e caracterização mecânica de compósitos de polietileno de alta densidade (PEAD) e de média densidade (PEMD) carregados com cargas minerais como carbonato de cálcio e atapulgita.

O efeito de uma modificação da carga com agente de acoplamento do tipo silano, bem como a influência do tempo de mistura nas propriedades mecânica dos compósitos foram investigados. Os teores de carga empregados foram de 10, 20, 30 e 40% e as propriedades mecânicas avaliadas foram:

- A resistência à tração;
- Módulo de elasticidade e
- Dureza.

Ficou evidente que a atapulgita (carga mineral fibrosa) é uma carga reforçante para o polietileno e que o tratamento com agente silano melhorou a adesão polímero / carga.

ABSTRACT

This work deals with the attainment and mechanical characterization of high (HDPE) density and medium density (MDPE) polyethylenes filled with mineral fillers such as calcium carbonate and attapulgite.

The effect of silane coupling agent treatment onto the filler as well as the mixing time on the composites mechanical properties were investigated. The filler contents employed were 10, 20, 30 and 40% w/w and properties analysed were: tensile strength, elastic modulus and hardness. It is evident that attapulgite (a fibrous mineral filler) is a reinforcing filler into PE and that treatment with the silane coupling agent improved polymer/filler adhesion.

I - INTRODUÇÃO

Este trabalho de estágio foi realizado no laboratório de Engenharia de Materiais na Universidade Federal da Paraíba em Campina Grande.

No laboratório de Engenharia de Materiais são desenvolvidas pesquisas nas áreas de materiais cerâmicos e poliméricos. As principais linhas de pesquisa referentes aos materiais cerâmicos tratam de varistores a base de óxido de zinco; obtenção de mulita a partir de cordierita; de compósitos de matriz cerâmica com cargas poliméricas e de catalizadores cerâmicos.

O presente estágio foi desenvolvido no setor de pesquisa de materiais poliméricos. As linhas de pesquisa deste setor tratam de caracterização e modificação química de produtos naturais (sisal, celulose e amido) por enxertia; de compósitos de matriz polimérica com carga regionais (atapulgita, sisal e mucilagem de sisal) e termofixo reforçados com fibras de sisal e vidro.

O trabalho aqui apresentado, trata da obtenção e caracterização mecânica de polietileno de alta (PEAD) e média (PEMD) densidade carregados com atapulgita (carga mineral fibrosa) ou com carbonato de cálcio (PEAD/Atap.; PEAD/CaCO₃; PEMD/Atap.; PEMD/CaCO₃).

A escolha da atapulgita deve-se ao fato de ser uma carga regional fibrosa e reforçante, ainda não utilizada industrialmente.

O carbonato de cálcio (carga particulada) é utilizado para fins comparativos, por ser uma carga amplamente utilizada na indústria.

Investigou-se a influência do teor de carga, do tempo de mistura, bem como o efeito de um agente de acoplamento nas propriedades mecânicas dos compósitos.

As propriedades mecânicas analisadas foram:

- Resistência à tração;
- Módulo de elasticidade e
- Dureza.

II - FUNDAMENTOS TEORICOS

II.1 - COMPOSITOS

O desenvolvimento de compósitos com matriz polimérica consiste em um método barato, seguro e eficiente de se alterar as propriedades físicas, químicas e mecânicas dos materiais.

Plásticos reforçados com fibras de vidro, carbono ou cerâmica são materiais versáteis. As suas aplicações incluem a carroceria de ônibus, autopeças, fachada de edifícios, piscinas, etc.

Para os compósitos apresentarem melhorias nas propriedades mecânicas, faz-se necessário a adesão entre o polímero e a matriz. Quando isso não ocorre de uma maneira desejada, ainda é possível melhorar a adesão através de um tratamento prévio das cargas mediante agentes de acoplamento.

Esses compostos, a base de titanatos e silanos, possuem uma parte orgânica que é compatível com o polímero.

Para ocorrer adesão entre os componentes, pode-se considerar cinco possibilidades:

1º. Adsorção e molhamento - O molhamento eficiente da carga pela resina, remove o ar incluso e cobre todas as suas protuberâncias. Este mecanismo, que depende das tensões superficiais dos componentes, fica impossibilitado de ocorrer quando há camadas de água na superfície da carga.

2º. Interdifusão - É a difusão de moléculas de uma fase para a outra.

3o. Atração eletrostática - É um mecanismo importante mas não decisivo em que a resistência da interface depende da densidade da carga elétrica.

4o. Ligação química - É a forma mais eficiente de adesão em compósitos. Ocorre geralmente com a aplicação de agentes de acoplamento na superfície da carga, servindo de ponte entre esta e o polímero com resultado de sua dupla funcionalidade.

5o. Adesão mecânica - Aumenta com a rugosidade da carga. É o resultado do preenchimento dos poros de carga pelo polímero.

II.1.1 - DEFINIÇÃO

Entende-se por compósito uma combinação de dois ou mais materiais, cada qual permanecendo com suas características individuais, em uma estrutura bifásica; a fase contínua ou matriz (polímero), e a fase dispersa (carga), em forma de cilindros, esferas ou plaquetas embebidas na matriz.

II.1.2 - PROPRIEDADES DOS COMPOSITOS

As propriedades dos compósitos dependem basicamente dos seguintes fatores:

- Propriedades dos componentes individuais e composição;
- Grau de interação entre as fases;
- Razão de aspecto da carga;
- Porosidade da carga;

- Grau de homogeneização e mistura entre os componentes.

11.2 - INTERFACE / MESOFASE

Atribui-se o aumento na resistência tênsil do compósito à transferência de tensões através da interface como resultado da deformação elástica longitudinal entre a carga e a matriz. Desta forma, a interface, ou seja, a área de contato entre o polímero e a carga, assume papel decisivo nas propriedades mecânicas.

Postula-se a existência de uma interface entre as partículas de carga e a matriz propriamente dita, comumente chamada de mesofase. Esta mesofase é polimérica mas com conformações diferentes do polímero base, e sua extensão depende do polímero, da carga e do grau de afinidade entre estes.

As moléculas poliméricas quando em contato com a superfície da carga, que é na verdade rugosa e irregular, promovem adsorção química e física. Camadas fisicamente adsorvidas, geram mesofases fracas, enquanto que quimicamente adsorvidas, geram mesofases fortes.

Do ponto de vista prático e teórico, o mais importante na mesofase é a adesão da matriz ao reforço. É necessário uma boa adesão na interface para que a transmissão das tensões seja efetiva e a carga seja reforçante. Na ausência de uma boa adesão, as cargas serão arrancadas da matriz, prejudicando, assim, as propriedades do polímero.

II.3 - RAZÃO DE ASPECTO

A razão de aspecto é a razão entre comprimento e diâmetro (L/D). Sabe-se que quanto maior for esta razão, maior será a eficiência da transferência de tensões do polímero para a carga.

No caso de compósitos fibrosos, existe um tamanho de fibra crítico para alcançar boas propriedades, já que as extremidades das fibras são pontos de concentração de tensões que fragilizam o material. Com o comprimento elevado, as fibras passam a suportar as tensões diretamente.

II.4 - HOMOGENEIZAÇÃO

Uma boa dispersão das cargas é fundamental para se ter propriedades constantes no material. A má dispersão das cargas geram aglomerados que causam concentração excessiva tensões de e que fragilizam o material. Para se obter uma boa dispersão é preciso analisar:

- Forma;
- Tamanho da partícula;
- Tendência a se agregarem ou a interagirem com o polímero;
- Molhabilidade da carga pela matriz;
- Técnica e tempo de mistura.

Algumas condições básicas devem ser alcançadas durante a etapa de mistura:

1g. O polímero deve envolver completamente todas as partículas de carga, sem a existência de aglomeração ou aglomerados.

2g. As cargas devem estar uniformemente dispersa na matriz.

3g. A razão de aspecto das cargas não devem ser alteradas durante a mistura.

Evidentemente, estas três condições raramente são alcançadas simultaneamente, principalmente porque quando se tem boa dispersão provoca-se inevitavelmente quebra das fibras, diminuindo, assim, a razão de aspecto.

II.5 - CARGA

Tanto polímeros termoplásticos como termofixos têm sido utilizados como matrizes em compósitos.

As cargas mais comuns utilizadas na indústria são: carbonato de cálcio, mica, negro de fumo e talco (que são cargas particuladas); vidro, carbono e asbestos (que são cargas fibrosas).

Geralmente a adição de um componente melhora algumas propriedades em detrimento de outras. Cargas não reforçantes aumentam o módulo de elasticidade, temperatura de amolecimento, viscosidade, dureza e temperatura de transição vítrea, enquanto diminuem a resistência mecânica. Por outro lado, as cargas reforçantes, geralmente fibrosas, apresentam, além das melhorias citadas referente às inertes (não reforçantes), maior resistência tensil e em alguns casos também, melhoria na resistência ao

impacto.

Na escolha de uma carga apropriada para um determinado polímero, deve-se levar em consideração aspectos como:

- Tamanho e forma da partícula;
- Dispersibilidade;
- Melhoria nas propriedades físicas desejadas;
- Baixa absorção de umidade;
- Afinidade superficial com o polímero;
- Custo;
- Ação abrasiva nos equipamentos de mistura.

II.5.1 - CARGA UTILIZADA - ATAPULGITA

A atapulgita é uma espécie de mineral que teve seu nome atribuído por *Laparente* (1935) a uma terra fuller descoberta em *Attapulgis*, Geórgia (USA). É um silicato hidratado de magnésio, cuja fórmula mais apropriada de cada célula cristalina é: $R_5Si_8O_{20}(OH)_2(OH)_4 \cdot 4H_2O$. Onde R é o cátion Mg^{2+} que pode ser parcialmente substituído por Al^{3+} , Fe^{2+} e Fe^{3+} .

A atapulgita quando comparada com outras argilas industriais (Betonitas, Caulinitas, etc.) apresenta:

- Alta superfície específica;
- Alta absorção de umidade;
- Poder descorante e
- Manutenção das propriedades tixotrópicas na presença de eletrólitos.

É utilizada principalmente em fluidos de perfuração de poços de petróleo em ambientes marinhos.

No Brasil, existe registros sobre ocorrências de atapulgita em Santos - SP, Marília - SP, Rubião Junior -SP, Ponte Alta - MG e Guadalupe - PI.

A idéia de se utilizar a atapulgita como carga em polímeros como o polietileno deve-se ao fato da atapulgita ser fibrosa e de fácil incorporação em termoplásticos (podendo atuar como reforço em determinados polímeros); ter importância comercial e ser não-convencional. Não há ainda uso industrial desta argila como carga em plásticos.

II.6 - ENSAIOS

A determinação das propriedades mecânicas de materiais poliméricos é realizada por meio de vários ensaios. Geralmente estes ensaios são destrutivos, pois promovem a ruptura ou inutilização do material. Existem ainda os ensaios chamados de não destrutivos, utilizados para a determinação de algumas propriedades físicas do material, bem como para detectar falhas internas no mesmo. Na categoria dos ensaios destrutivos, estão classificados, entre outros, os ensaios de tração, dobramento, flexão, compressão e impacto. O ensaio de dureza que, embora possa em certos casos não inutilizar a peça ensaiada, também está incluído nesta categoria.

A escolha do ensaio mecânico mais interessante ou mais adequado para cada produto polimérico depende da finalidade do material, dos tipos de esforços que este material vai sofrer quando em uso e das propriedades mecânicas que se deseje medir.

II.6.1 - ENSAIO DE TRAÇÃO

A facilidade de execução e a reprodutibilidade dos resultados, tornam o ensaio de tração o mais popular e reportado de todos os ensaios mecânicos.

A aplicação de uma força num corpo sólido promove uma deformação do material na direção do esforço. O ensaio de tração consiste de submeter um material a um esforço que tende a alongá-lo. O ensaio é realizado num corpo de prova de formas e dimensões padronizadas, para que os resultados obtidos possam ser comparados ou, se necessário, reproduzidos.

Os ensaios de tração são realizados da seguinte forma:

O corpo de prova é fixado por meio de garras numa máquina de ensaios que submete a amostra a uma deformação constante na sua direção axial e medindo os esforços necessários para obter estas deformações. Os esforços necessários e as deformações correspondentes são medidos até a ruptura do corpo de prova. A proporcionalidade entre a carga aplicada e a deformação sofrida termina no momento em que começa a aparecer o fenómeno de estrição, que implica numa diminuição da secção reta do corpo de prova. A ruptura sempre se dá na região estreita do material a menos que um defeito interno no material promova a sua ruptura prematura.

III - MATERIAIS E METODOS

III.1 - MATERIAIS

Os polímeros utilizados foram: **a)** Polietileno de alta densidade (PEAD) com índice de fluidez de 1,0 g/10 min fabricado pela POLIALDEN e codificado como ET-010 ; **b)** Polietileno de média densidade (PEMD) com índice de fluidez de 0,5 g/10 min.

A atapulgita e o carbonato de cálcio foram fornecidos pela UNIAO BRASILEIRA DE MINERAÇÃO e foram utilizados como recebidos. O carbonato é procedente da Paraíba e a atapulgita do Piauí.

O agente de acoplamento do tipo silano utilizado foi o gama-aminopropil-trimetoxi-silano, fabricado pela UNION CARBIDE, codificado como A-1100 e gentilmente cedido pela PEPASA S.A.

III.2 - METODOLOGIA UTILIZADA

III.2.1 - MISTURA

Com a atapulgita seca por 48 horas a 110°C e o polietileno em pó, fez-se inicialmente a mistura distributiva por tamboreamento durante 45 minutos. Em seguida fez-se a mistura dispersiva em misturador aberto de cilindros com relação de fricção (razão entre as velocidades dos cilindros) de 1 : 1,4.

Esta mistura foi feita a 180°C durante 10 minutos, para teores de carga de 10, 20, 30 e 40%, os corpos de prova

moldados e as propriedades mecânicas destes compósitos determinadas.

Num outro estudo que tratava de influência do tempo de mistura nas propriedades mecânicas dos compósitos, fez-se a mistura distributiva e, em seguida, a mistura dispersiva a 180°C no misturador aberto para tempos de mistura de 0, 3, 6, 10 e 15 minutos, para cada um dos teores de carga empregados.

III.2.2 - MOLDAGEM

Os corpos de prova foram moldados por compressão a 100 Kgf/cm² durante 5 minutos após um pré-aquecimento de 5 minutos a 150°C. A forma do corpo de prova obedece à regra ASTM D-638 e está ilustrada na figura 01 em anexo.

A metodologia para obtenção dos corpos de prova está representada nos fluxogramas 1 e 2 em anexo.

III.2.3 - MODIFICAÇÃO DA ATAPULGITA

A modificação superficial da atapulgita com o agente de acoplamento silano A-1100 (gama-aminopropil-trinetozi) foi realizada antes de sua incorporação ao polímero. O tratamento consistiu na dissolução de 2% (em relação a massa da carga) deste agente em solução 9:1 de metanol e água que foi então colocada em contato com a atapulgita por 24 horas em repouso; em seguida a amostra foi seca em estufa e cominuída.

IV - TESTES

IV.1 - ENSAIO DE RESISTENCIA A TRAÇÃO

Os testes de tração foram feitos no equipamento de marca KRATOS (MOD. K-500) segundo a ASTM (D-638), com velocidade de deformação de 48 mm/min, umidade relativa de 32% e temperatura ambiente de 27 C.

Fórmula para cálculos:

$$\sigma = F/A \text{ (Kg/cm}^2\text{)}$$

onde σ é a tensão, F é a força e A é a área.

IV.2 - MODULO DE ELASTICIDADE

O módulo de elasticidade é a medida da rigidez do material; quanto maior o módulo, menor será a deformação elástica resultante da aplicação de uma tensão e mais rígido será o material.

O módulo de elasticidade pode ser calculado por:

$$E = (FL^3) / 4CD^3Y$$

onde:

F - Força aplicada;

L - Largura média do suporte onde é colocada a amostra;

C - Largura do corpo de prova;

D - Espessura do corpo de prova e

Y - Deflexão vertical.

IV.3 - DUREZA

A dureza Shore-D foi avaliada em durômetro Wulstest MP-20 com o tempo de aplicação de carga de 4 segundos.

V - DISCUSSÃO

A fig. 02 e a tabela 04, em anexo, mostram a resistência à tração de compósitos de polietileno de média densidade carregados com a atapulgita e com carbonato de cálcio. Fica evidente que os compósitos de FEMD / atapulgita tem maior resistência à tração que os de FEMD / carbonato de cálcio. Isto pode estar relacionado ao fato da atapulgita ter uma estrutura fibrosa e apresentar maior adesão com o polietileno de média densidade.

A fig. 03 e tabela 05, em anexo, mostram a resistência à tração de compósitos de polietileno de alta densidade carregados com atapulgita, com carbonato de cálcio e com atapulgita tratada com agente de acoplamento. Observa-se que a atapulgita atua como carga reforçante ao PEAD, aumentando a sua resistência à tração. Novamente isto é atribuído à natureza fibrosa da atapulgita. A maior razão de aspecto desta carga, implica numa área de contato entre a carga e o polímero maior do que de cargas particuladas (CaCO_3) com a matriz, possibilitando assim maior eficiência na transferência de tensões da matriz

para o elemento de reforço. Os compósitos de PEAD / atapulgita tratada com silano, apresentam propriedades superiores às dos outros compósitos investigados (PEAD/atap. ou PEAD/CaCO₃). Isto é atribuído à melhora promovida pelo agente de acoplamento, possibilitando assim maior transferência de tensões através da interface.

O carbonato de cálcio apresenta uma queda na resistência à tração com o teor de carga. Isto é atribuído a falta de adesão entre o carbonato de cálcio e a matriz.

As figuras 06, 07 e a tabela 06 em anexo, mostram os resultados do efeito do tempo de mistura nos compósitos investigados. Para os corpos de prova moldados apenas com a mistura à frio (mistura distributiva), o resultado foi a fragilização do material com a quantidade de carga, devido ao elevado teor de vazios e aglomerados das partículas.

Para os compósitos obtidos por mistura distributiva e dispersiva, nota-se que tempos de mistura, mais elevados causam um aumento na resistência à tração para teores de carga de até 30%. Acima desta concentração há uma tendência de redução na resistência à tração dos compósitos.

Para todas as concentrações investigadas observa-se um aumento na resistência à tração com o aumento do tempo de mistura.

A mistura é uma etapa fundamental no processamento de polímeros. É nesta etapa que se efetua a dispersão das cargas nos compósitos. Uma distribuição não homogênea de carga, formando

aglomerados, fragiliza o material, pois estes aglomerados reduzem a efetiva razão de aspecto das cargas fibrosas e atuam como fortes concentradores de tensão. Além disto, a presença dos aglomerados torna difícil o molhamento completo da partícula pelo polímero, gerando assim, um material com microvazios, reduzindo a resistência à tração do material.

Em geral, maiores tempos de mistura causam a desintegração dos aglomerados e melhor dispersão das cargas, gerando produtos mais homogêneos. O processo de mistura empregado envolve o aquecimento e cisalhamento do material e, é preciso lembrar que esse processo pode levar à degradação e/ou reticulação da matriz. O predomínio de um ou outro mecanismo vai depender do tempo e temperatura de processamento, teor de carga, taxa de cisalhamento, presença de oxigênio, etc.

Quando a oxidação predomina, as propriedades mecânicas são reduzidas; quando a reticulação predomina, há aumento da rigidez do material e das propriedades mecânicas em geral.

Para todos os compósitos aqui investigados (tabela 06 e figs. 06, 07) houve um aumento na resistência à tração com o tempo de mistura e, este aumento foi mais evidente a baixos teores de carga indicando que, sob as condições experimentais empregadas e para o sistema analisado, a reticulação predominou ou a homogeneização aumentou.

As figuras 04, 05, 08 e as tabelas 07, 08 e 09 em anexo, mostram os resultados do módulo de elasticidade.

O módulo de elasticidade é definido como a razão entre

a tensão aplicada e a deformação sofrida pelo material, portanto, quanto mais rígido for o material, menor será a deformação sofrida e maior o seu módulo de elasticidade. As cargas costumam ser mais rígidas do que a matriz e, portanto, o módulo dos compósitos tendem a aumentar com o teor de carga. A adesão polímero / carga também influencia fortemente esta propriedade, pois impede a fratura prematura do material. Os dados obtidos indicam que o módulo de elasticidade aumentou com o teor de carga e que este aumento foi levemente maior para as cargas tratadas com agente de acoplamento, o que era esperado.

Os resultados mostram que o módulo de elasticidade de todos os compósitos investigados é praticamente independente do tempo de mistura, o que indica que os mecanismos de reticulação / degradação devem estar em equilíbrio e que, o aumento na resistência à tração com o tempo de mistura (figs. 06, 07 • 08) é devido a melhor dispersão das cargas com o tempo de mistura, e não devido ao predomínio da reticulação.

As tabelas 01, 02 e 03 em anexo, mostram que a dureza dos compósitos é maior do que a do polímero puro e que esta propriedade é relativamente insensível ao teor de carga. Isto ocorre porque dureza é uma medida de resistência à penetração em 1 mm de uma agulha sob ação de um peso constante e, portanto, é mais sensível às propriedades superficiais do material.

VI - CONCLUSÃO

Esta pesquisa trata da incorporação da atapulgita no polietileno de média e alta densidades e sua influência nas propriedades mecânicas dos compósitos. As principais conclusões foram:

1o. A atapulgita atua como carga reforçante por ser uma carga fibrosa e compatível com o polietileno.

2o. A atapulgita é de fácil incorporação, semelhante às cargas particuladas e de custo semelhante, podendo futuramente ser utilizada industrialmente.

3o. O uso do agente de acoplamento silano altera a adesão entre as fases, proporcionando, assim, melhoria nas propriedades mecânicas.

4o. A resistência à tração aumenta com o tempo de mistura devido a melhor homogeneização das cargas no compósito.

5o. Quanto maior o teor de carga, maior o módulo de elasticidade.

6o. A dureza dos compósitos é independente do teor de carga.

VII - AVALIAÇÃO DO ESTAGIO

A realização do estágio permite ao estudante pôr em prática parte do que lhe foi ensinado e, ao mesmo tempo, ensina a tomar decisões e ser mais responsável.

O mais importante é que nos foi permitido o direito de errar, pensar e acertar.

VII - BIBLIOGRAFIA

BENVINDO, A. & LUIZ, S., ESTUDOS TECNOLÓGICOS PARA APROVEITAMENTO DE ATAPULGITA DE GUADALUPE, Centro de Tecnologia Mineral, CETEM, Piauí.

REVISTA PLÁSTICOS MODERNO. PLÁSTICO REFORÇADO, Edição Especial, nº 170, Ed. GD. LTDA., São Paulo, Abril, 1987.

RABELLO, M. S. - COMPORTAMENTO FÍSICO DE COMPOSITOS POLIPROPILENO / ATAPULGITA. - Dissertação de Mestrado, UFPB, Campina Grande, 1989.

RABELLO, M. S., HECKER, L. C., LIRA, S. & ALCANTARA, R. - COMPORTAMENTO MECÂNICO DE COMPOSITOS POLIPROPILENO ATAPULGITA.- UFPB, Campina Grande, 1990.

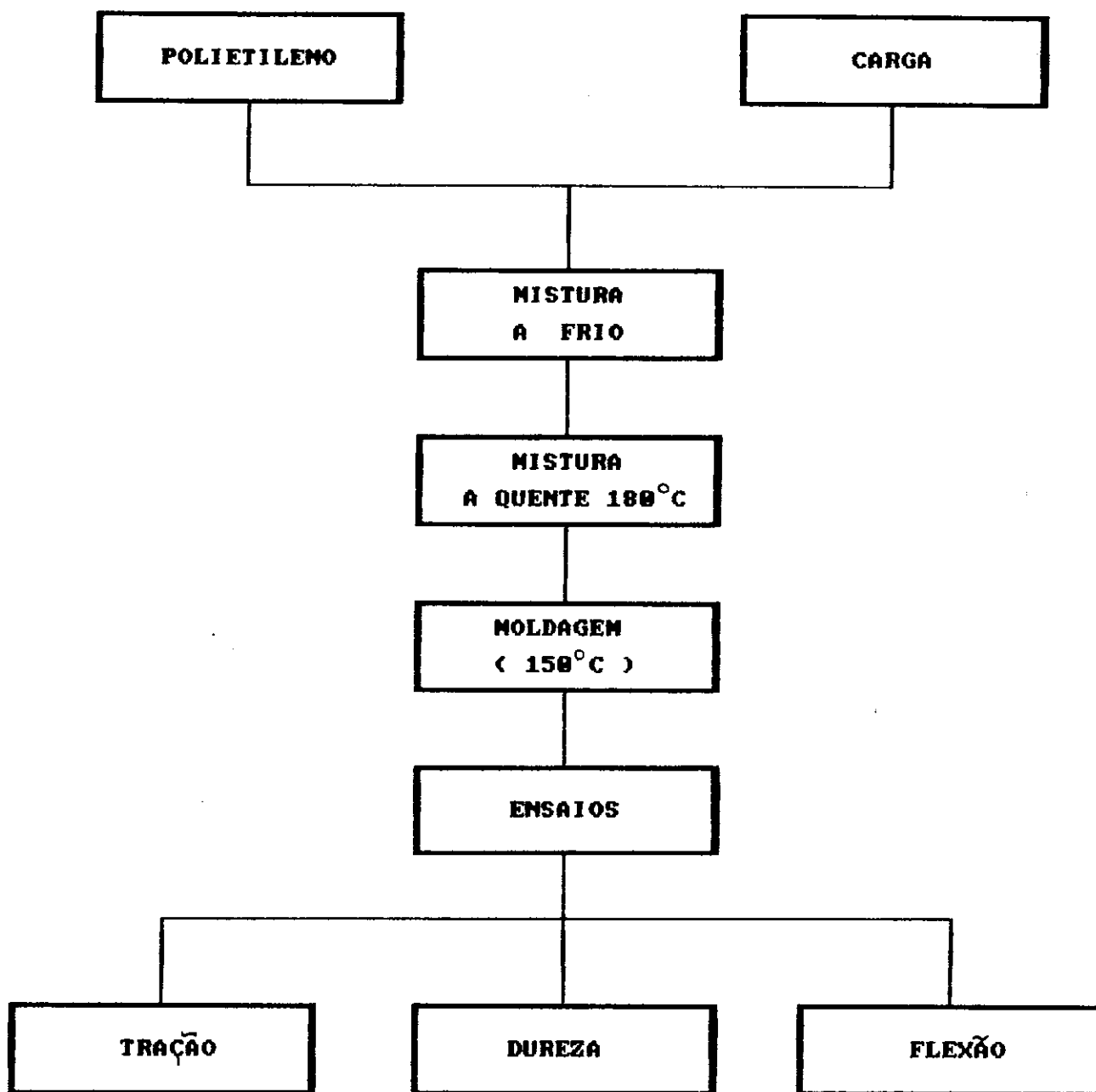
SILANE ADESION PROMOTORS IN MINERAL-FILLED COMPOSITES, Informativo Técnico da Union Carbide, 1973.

TITOW, W. V. & LANHAM, B. J., TERMOPLÁSTICOS REFORÇADOS. Editorial Américalee. Buenos Aires.

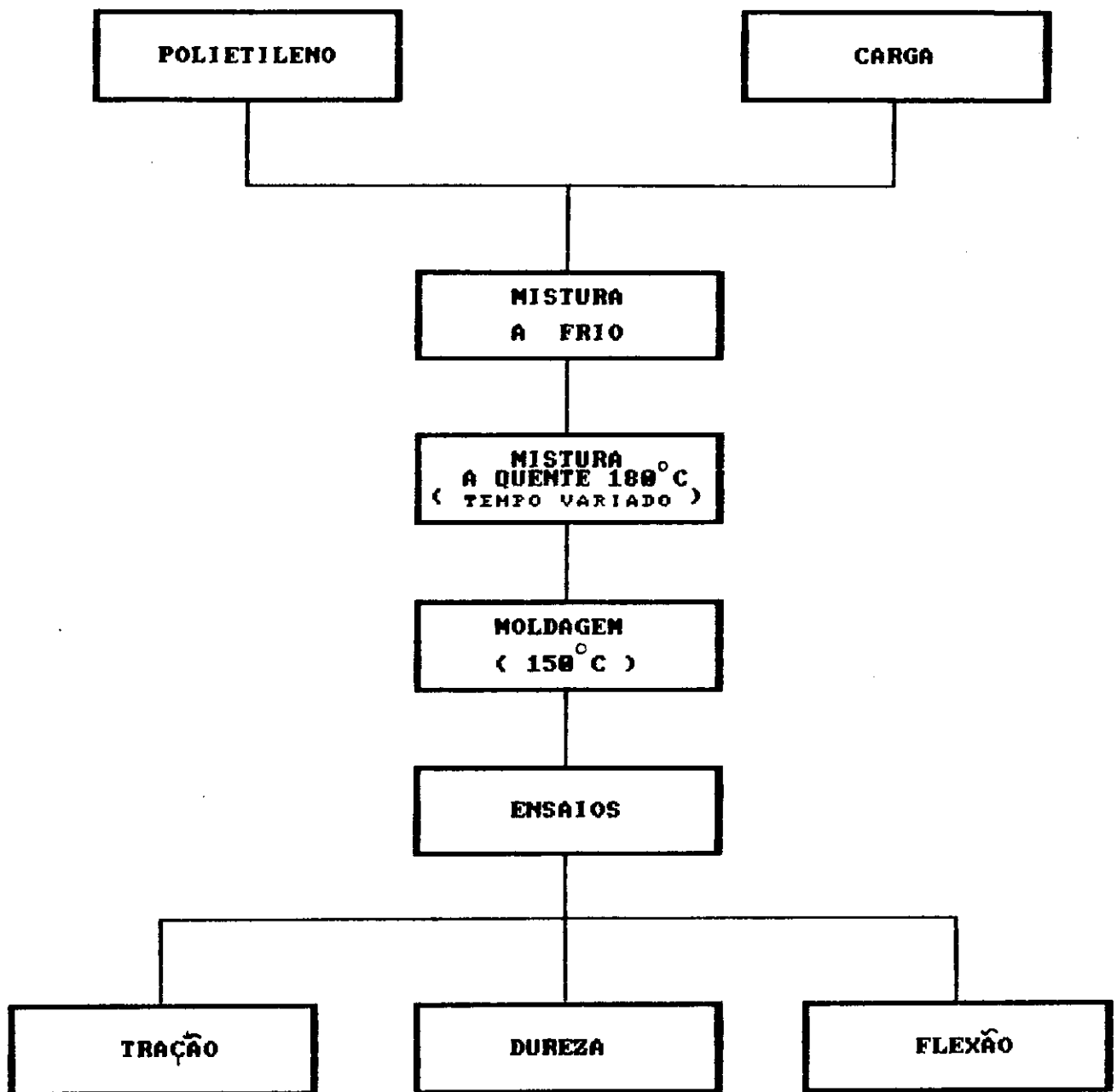
RABELLO, M. S.; CARVALHO, L. H.; PORTO, S. L.;
ALCANTARA, R.; FRANCISCO, C.; **COMPOSITOS DE
POLIETILENO - Influência do Tipo de Polietileno nas
Propriedades Mecânicas dos Compósitos com
Atapulgita.** Anais do I Congresso Brasileiro de
Polímeros, pag. 420 - 425, São Paulo-SP, 1991.

RABELLO, M. S.; CARVALHO, L. H.; PORTO, S. L.;
ALCANTARA, R.; MERGIA, L.; **COMPOSITOS DE
POLIETILENO - Influência das Condições de Mistura
nas Propriedades de Compósitos.** Anais do I Congresso
Brasileiro de Polímeros, pag. 426 - 429, São Paulo -
SP, 1991.

ANEXO



FLUXOGRAMA 1 - Metodologia de Preparação e Caracterização dos Compositos de Polietileno \ Atapulgita.



FLUXOGRAMA 2 - Metodologia de Preparação e Caracterização dos Compositos de Polietileno \ Atapulgita.

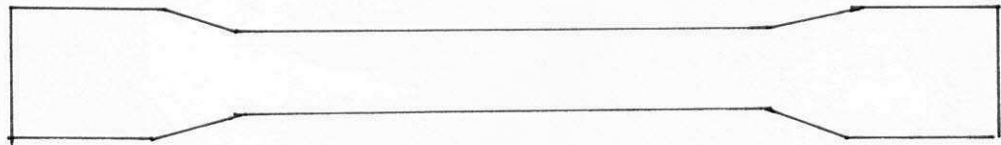


FIG. 01 - FORMA DO CORPO DE PROVA

▼ FEMD / CaCO₃ (10 min. de mistura à 180°C)
 ▲ FEMD / ATAPULGITA (10 min. de mistura à 180°C)

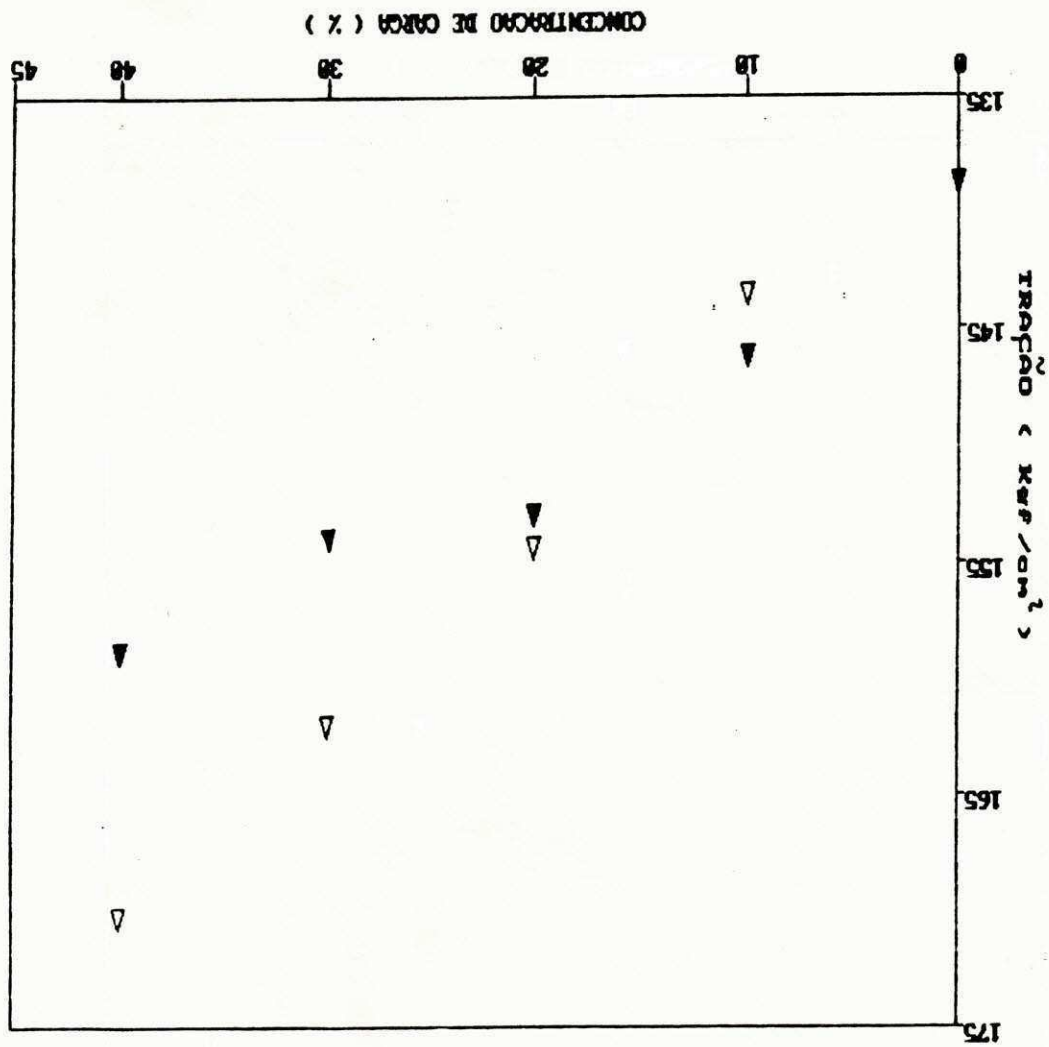
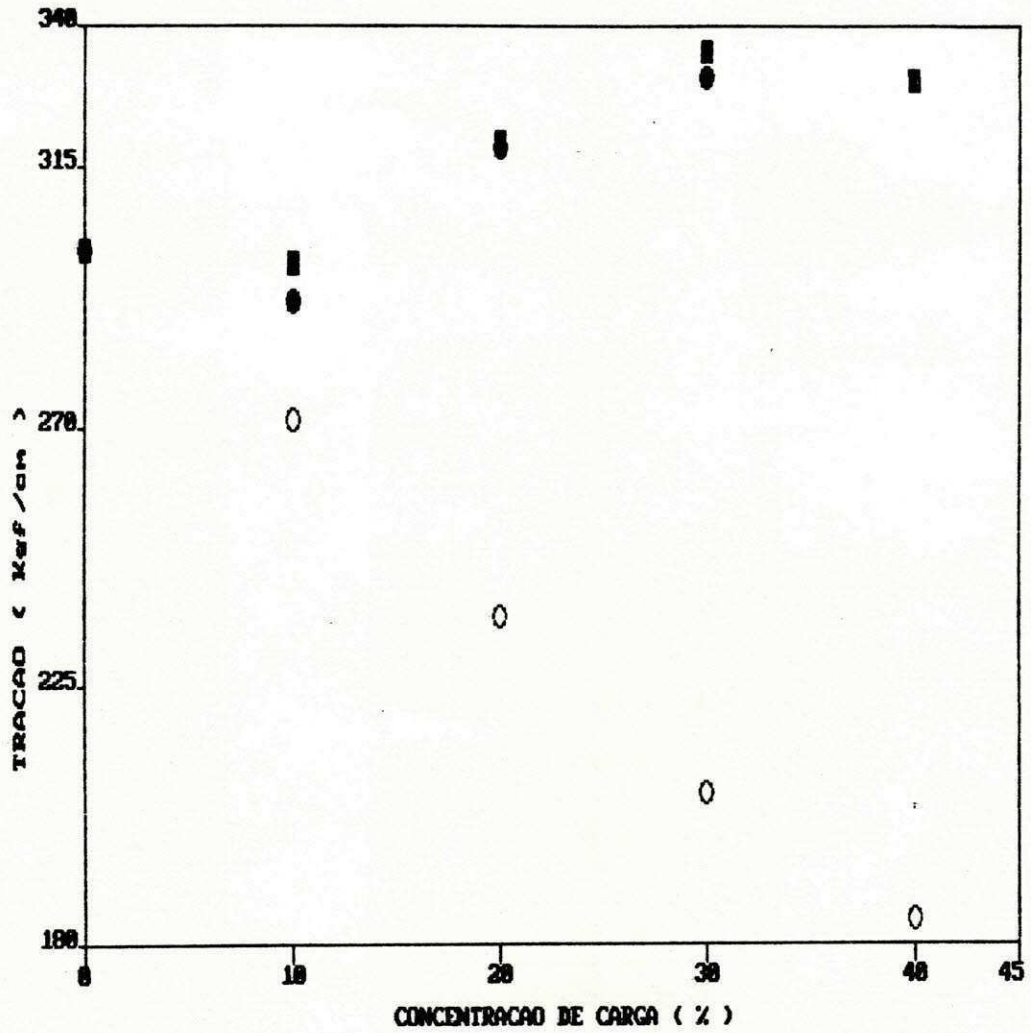


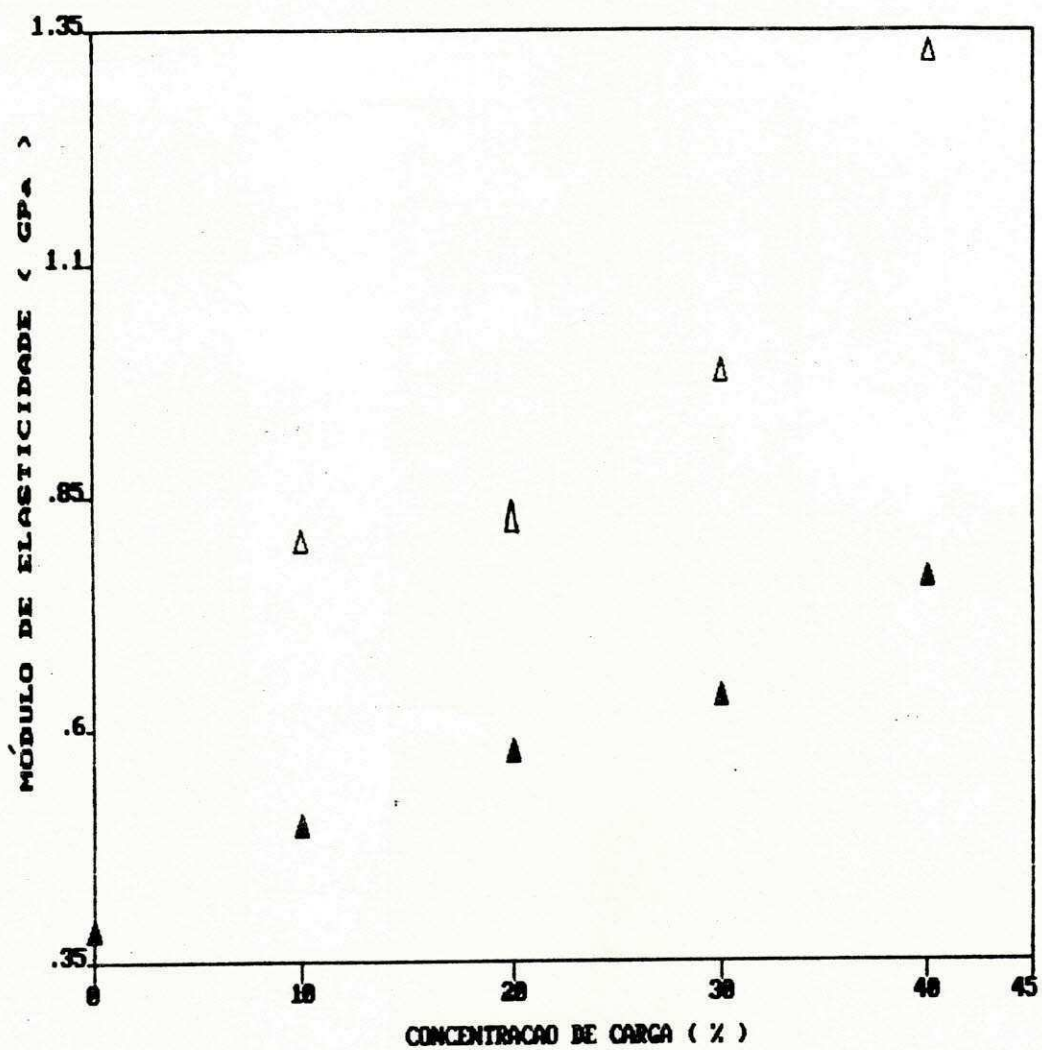
Fig. 02

FIG. 03



- ◆ PEAD / ATAPULGITA (10 min. de mistura à 180° C)
- PEAD / ATAPULGITA - SILANO (10 min. de mistura à 180° C)
- ◇ PEAD / CaCO₃ (10 min. de mistura à 180° C)

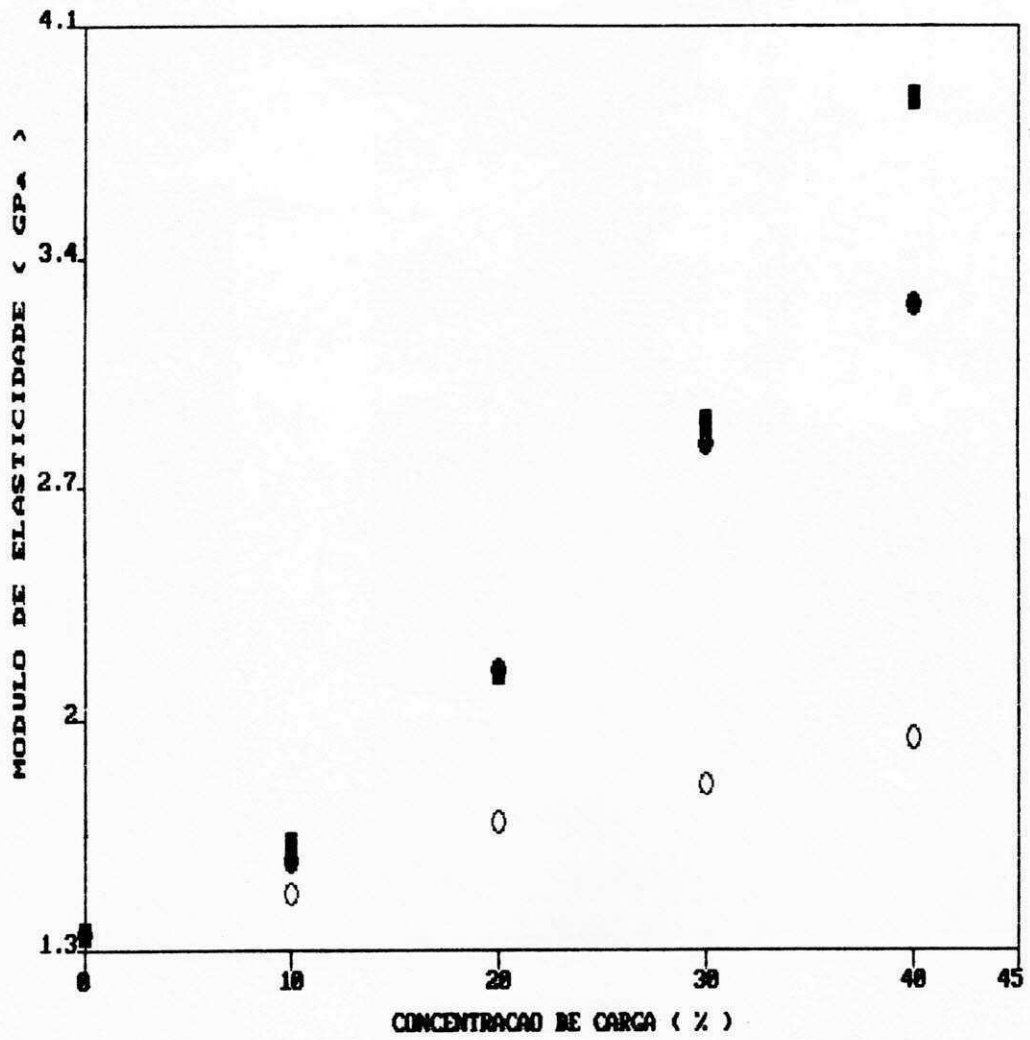
FIG. 04



△ PEMD / ATAPULGITA (10 min. de mistura à 180° C)

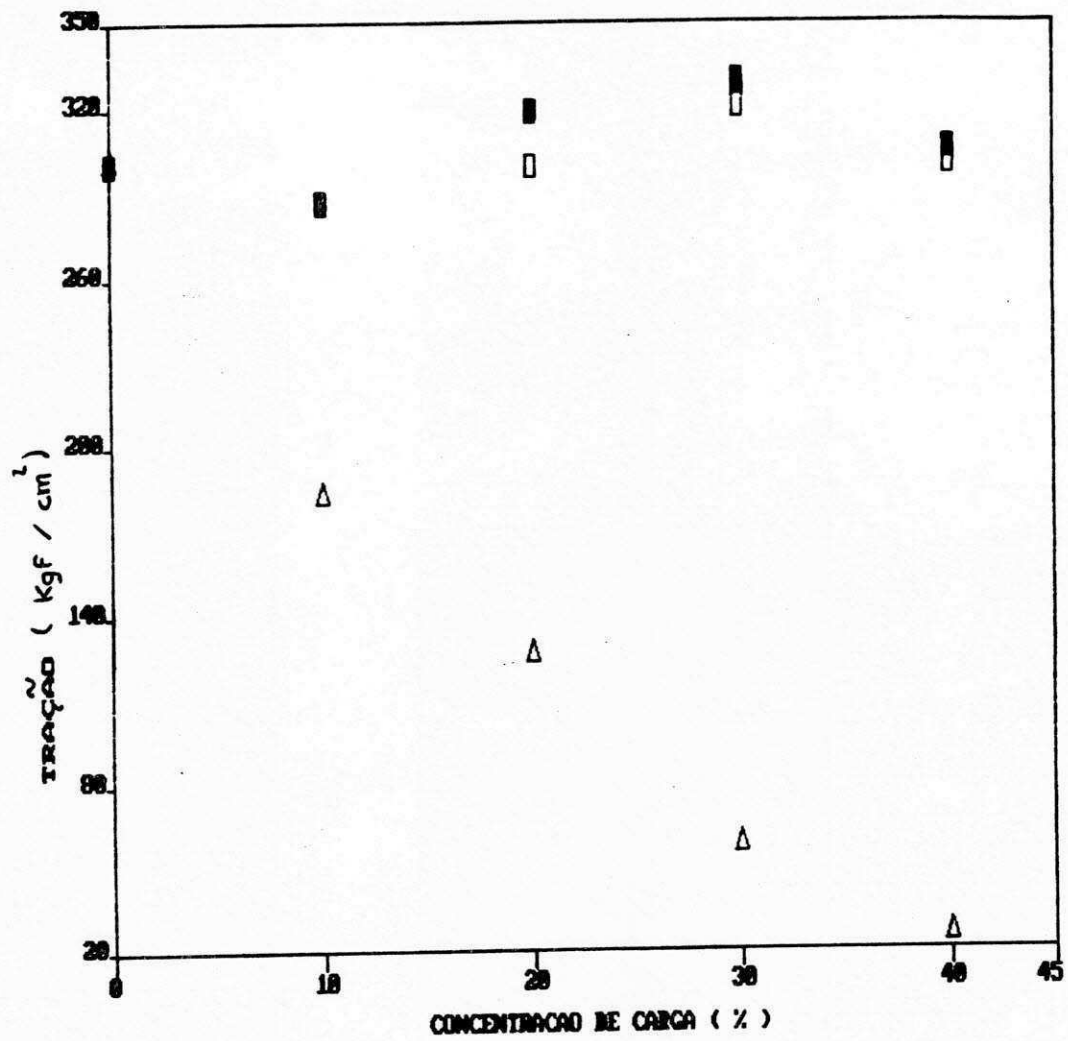
▲ PEMD / CaCO₃ (10 min. de mistura à 180° C)

FIG. 05



- ◆ PEAD / ATAPULGITA (10 min. de mistura à 180° C)
- PEAD / ATAPULGITA - SILANO (10 min. de mistura à 180° C)
- ◇ PEAD / CaCO₃ (10 min. de mistura à 180° C)

FIG. 06

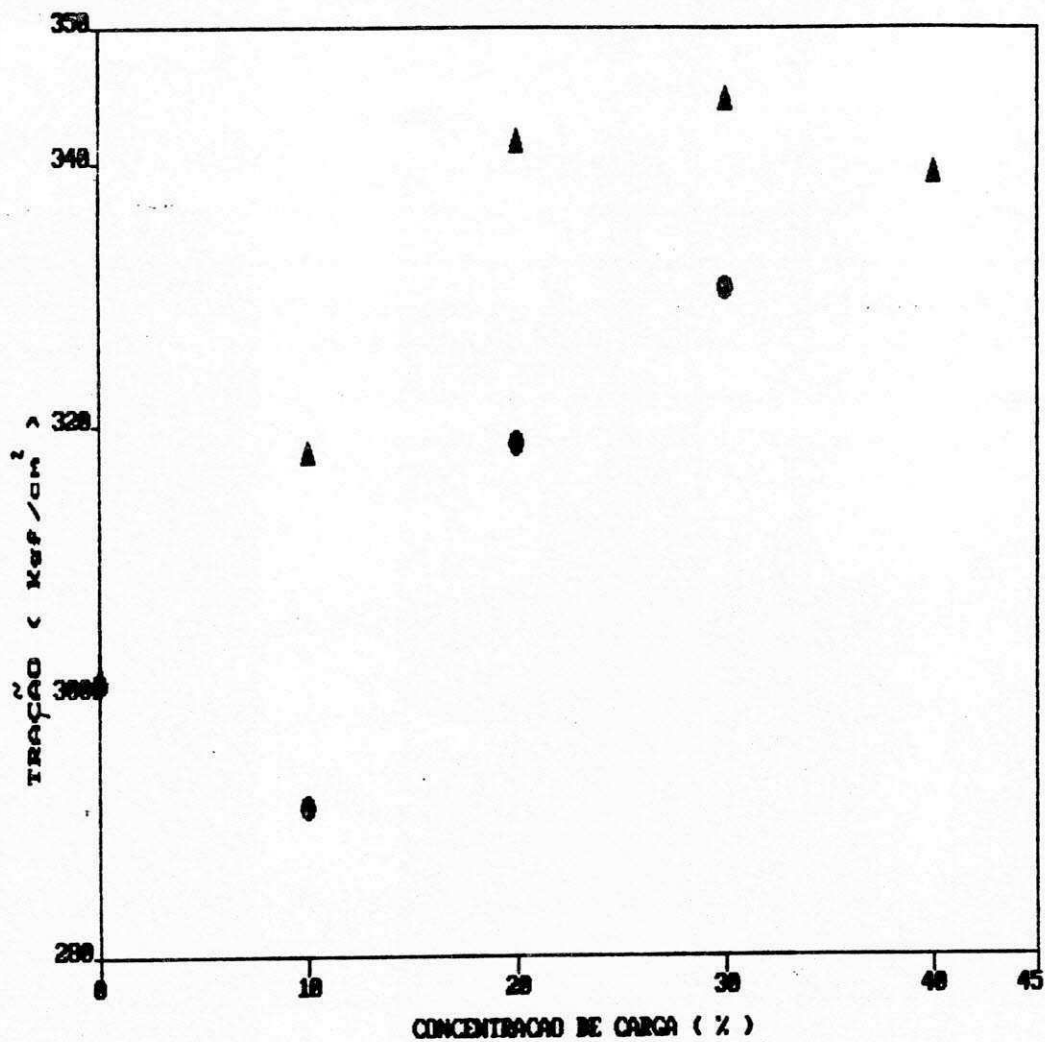


△ PEAD / ATAPULGITA (0 min. de mistura à 180° C)

□ PEAD / ATAPULGITA (3 min. de mistura à 180° C)

■ PEAD / ATAPULGITA (6 min. de mistura à 180° C)

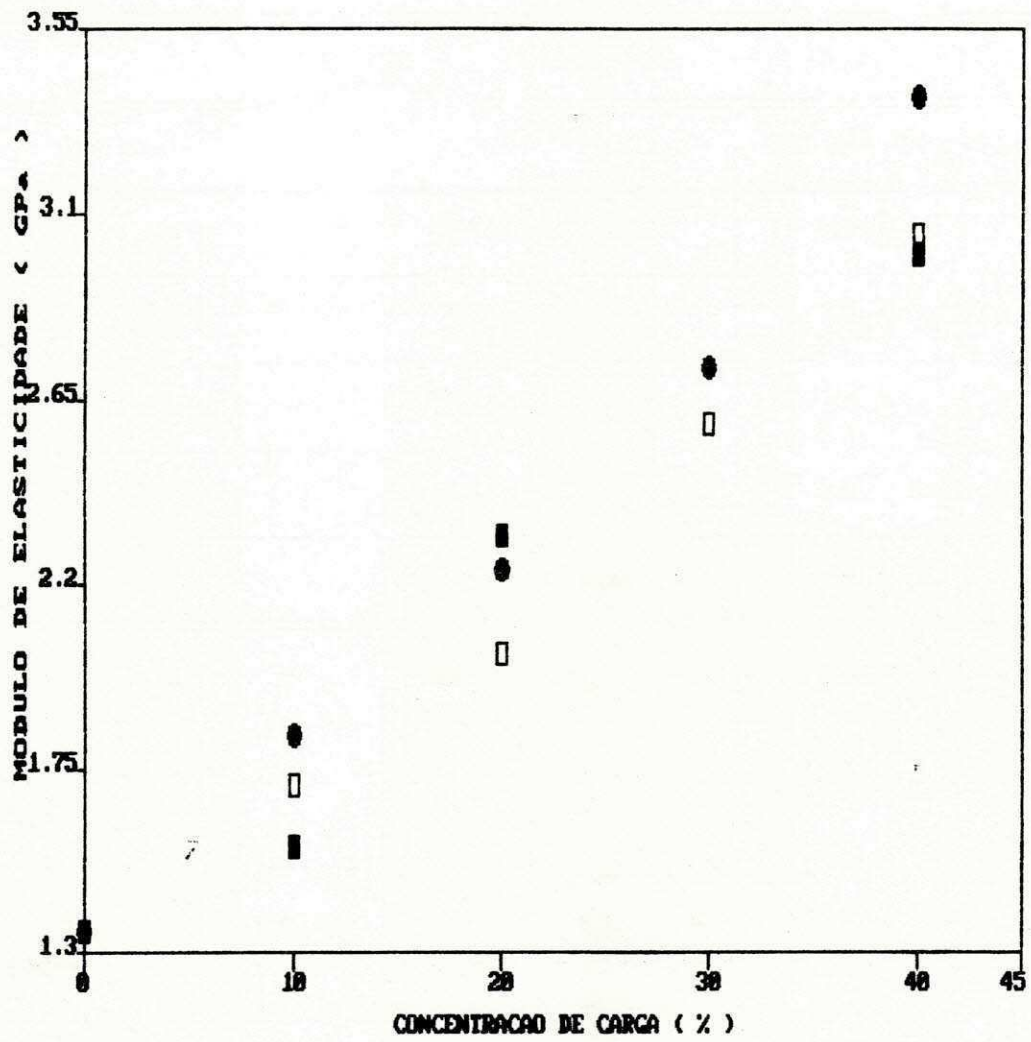
FIG. 07



◆ PEAD / ATAPULGITA (10 min. de mistura à 180°C)

▲ PEAD / ATAPULGITA (15 min. de mistura à 180°C)

FIG. 08



- PEAD / ATAPULGITA (3 min. de mistura à 180° C)
- PEAD / ATAPULGITA (6 min. de mistura à 180° C)
- ◆ PEAD / ATAPULGITA (15 min. de mistura à 180° C)

* TABELA 1.

MISTURA A 180 C POR 10 MINUTOS.		
DUREZA SHORE - D.		
CARGA	PEAD / CaCO ₃	PEAD/ATAP.-SILANO
0 %	43,0 + 1,0	43,0 + 1,0
10 %	57,5 + 0,2	60,7 + 1,1
20 %	56,4 + 1,1	60,2 + 1,1
30 %	54,9 + 0,7	60,3 + 0,9
40 %	55,5 + 0,2	60,0 + 0,3

* TABELA 2.

MISTURA A 180 C POR 10 MINUTOS.		
DUREZA SHORE - D.		
CARGA	PEND / CaCO ₃	PEND / ATAP.
0 %	41,8 + 0,4	41,8 + 0,4
10 %	55,4 + 0,5	49,5 + 0,3
20 %	56,5 + 0,5	52,2 + 0,6
30 %	56,5 + 1,0	58,4 + 0,1
40 %	56,2 + 0,7	58,5 + 0,5

* TABELA 3.

MISTURA A 180 C (TEMPO VARIADO).			
PEAD / ATAPULGITA.			
DUREZA SHORE - D.			
CARGA	3 min.	6 min.	15 min.
10 %	60,6 + 1,1	—	59,0 + 1,7
20 %	63,3 + 2,3	—	63,3 + 0,8
30 %	61,3 + 0,5	60,4 + 1,5	65,5 + 1,6
40 %	63,3 + 1,7	61,7 + 1,2	68,6 + 0,9

* TABELA 4.

MISTURA A 180 C POR 10 MINUTOS.		
TRACAO (Kgf/cm ²) -		
CARGA	PEND / CaCO ₃	PEND / ATAP.
0 %	138,5 + 1,1	138,5 + 1,1
10 %	146,1 + 1,6	143,3 + 2,4
20 %	152,9 + 3,0	154,2 + 0,5
30 %	153,9 + 1,8	161,7 + 6,2
40 %	158,7 + 1,7	170,1 + 6,4

* TABELA 5.

MISTURA A 180 C POR 10 MINUTOS.			
TRACAO (Kg _f /cm ²) -			
CARGA	PEAD / CaCO ₃	PEAD / ATAP.	PEAD/ATAP.-SILANO
0 %	300,7 + 1,3	300,7 + 1,3	300,7 + 1,3
10 %	271,4 + 3,8	291,6 + 3,7	298,2 + 3,7
20 %	237,2 + 6,1	318,4 + 8,6	319,1 + 8,1
30 %	206,2 + 3,9	330,5 + 2,5	335,3 + 9,6
40 %	184,2 + 7,6	—	338,0 + 6,6

* TABELA 6.

MISTURA A 180 C (TEMPO VARIADO).					
PEAD / ATAPULGITA.					
TRACAO (Kg _f /cm ²) -					
CARGA	0 min.	3 min.	6 min.	10 min.	15 min.
10 %	180,8 + 53,4	—	286,5 + 4,2	291,6 + 3,7	317,5 + 14,6
20 %	126,0 + 23,2	299,2 + 3,4	319,2 + 29,8	318,4 + 8,6	341,2 + 9,0
30 %	58,2 + 10,7	321,0 + 8,8	330,1 + 18,4	330,5 + 2,5	344,2 + 11,2
40 %	24,7 + 7,4	300,3 + 16,5	306,8 + 20,2	—	338,9 + 21,6

* TABELA 7.

MISTURA A 180 C POR 10 MINUTOS.		
MODULO DE ELASTICIDADE (GPa).		
CARGA	PEND / CaCO ₃	PEND/ATAP.
0 %	0,38 + 0,03	0,38 + 0,03
10 %	0,80 + 0,06	0,49 + 0,10
20 %	0,82 + 0,10	0,57 + 0,08
30 %	0,98 + 0,03	0,63 + 0,05
40 %	1,32 + 0,07	0,76 + 0,06

* TABELA 8.

MISTURA A 180 C POR 10 MINUTOS.			
MODULO DE ELASTICIDADE (GPa).			
CARGA	PEAD / CaCO ₃	PEAD / ATAP.	PEAD/ATAP.-SILANO
0 %	1,35 + 0,05	1,35 + 0,05	1,35 + 0,05
10 %	1,47 + 0,08	1,57 + 0,19	1,62 + 0,28
20 %	1,69 + 0,11	2,15 + 0,19	2,14 + 0,24
30 %	1,80 + 0,07	2,83 + 0,18	2,90 + 0,76
40 %	1,94 + 0,18	3,26 + 0,11	3,88 + 0,30

* TABELA 9.

MISTURA A 180 C (TEMPO VARIADO).				
PEAD / ATAPULGITA.				
MODULO DE ELASTICIDADE (GPa).				
CARGA	3 min.	6 min.	18 min.	15 min.
10 %	1,71 + 0,26	1,56 + 0,13	1,57 + 0,19	1,83 + 0,08
20 %	2,03 + 0,15	2,32 + 0,34	2,15 + 0,19	2,23 + 0,12
30 %	2,59 + 0,15	—	2,83 + 0,18	2,73 + 0,25
40 %	3,05 + 0,62	3,00 + 0,29	3,26 + 0,11	3,38 + 0,33