UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE QUÍMICA
Programa de Pós-Graduação em Química

RENATA APARECIDA NERES

**Caracterização Térmica de Amostras de
Esponja Sintética Dupla Face e Palha de Aço**

São Paulo

Data do Depósito na SPG:
28/ 07/2014

RENATA APARECIDA NERES

**Caracterização Térmica de Amostras de
Esponja Sintética Dupla Face e Palha de Aço**

Dissertação apresentada ao Instituto de Química da
Universidade de São Paulo para obtenção do
Título de Mestre em Química (Química Analítica)

Orientador: Prof. Dr. Jivaldo do Rosário Matos

São Paulo
2014

FICHA CATALOGRÁFICA

RENATA APARECIDA NERES

Caracterização Térmica de Amostras de Esponja Sintética Dupla Face e Palha de Aço

Dissertação apresentada ao Instituto de Química da
Universidade de São Paulo para obtenção do
Título de Mestre em Química (Química Analítica).

Aprovado em: _____

Banca Examinadora

Prof. Dr. _____

Instituição: _____

Assinatura: _____

Prof. Dr. _____

Instituição: _____

Assinatura: _____

Prof. Dr. _____

Instituição: _____

Assinatura: _____

Agradecimentos

Conseguimos!!!

Conseguimos, Neli, Sueli, Ronaldo e Nilton, amados irmãos, porque muito que sei devo à vocês, muitos momentos felizes que me ajudaram a ter força e me tornar quem sou. Como diz o Naldo, vocês estão em mim!

Conseguimos, professor Jivaldo, pois sem sua confiança e atenção eu nem teria começado! Obrigada pela paciência e por me deixar fazer parte desse grupo maravilhoso! Agradeço de coração a todos os amigos do LATIG.

Conseguimos, professora Lucildes, porque sem seus conselhos e ensinamentos teria sido mais difícil essa jornada. Agradeço todos os queridos do LATEMIG.

Conseguimos, meus amigos, muitos amigos que continuam me amando independente do tempo e distância. E da saudade! A, quanta saudade!

Conseguimos Juliana Ferreira de Oliveira, porque sem seu apoio e amizade as pedras teriam sido maiores.

Conseguimos família, Tio João, Tio Bida, Tia Marta, Tia Cleida, Tia Alaíde, Tio Xavier, Tia Odila, Tio Zé (os dois), todos.... Saibam que construíram um pedaço de mim.

E o melhor eu deixo por último, e agradeço com lágrimas nos olhos...

Conseguimos meu pai Nelito Neres dos Santos e minha mãe Mercedes Marques dos Santos, porque sem suas palavras eu não teria acreditado em mim. Porque se a senhora não me ligasse todos os dias, com certeza em algum deles eu teria desistido. O maior orgulho da minha vida é ser filha de vocês! Obrigada por tudo!

Dedico essa dissertação a vocês, pai e mãe. Maior Amor do mundo!!!!

RESUMO

Neres, R.A. **Caracterização Térmica de Amostras de Esponja Sintética Dupla Face e Palha de Aço**. 2014. Número de páginas 78. Dissertação – Programa de Pós-Graduação em Química. Instituto de Química, Universidade de São Paulo.

Palavras-chave: palha de aço, esponja sintética, TG/DTG e DSC, cinética de decomposição térmica.

Este trabalho tem por objetivo a caracterização comparativa do comportamento de degradação e/ou decomposição térmica da esponja sintética dupla face, base poliuretana (parte amarela e parte verde), e da palha de aço, a partir das técnicas termoanalíticas. As esponjas sintéticas para limpeza doméstica, em substituição à palha de aço, apesar da vantagem econômica, podem apresentar restrições de descartes para o meio ambiente ou expor o usuário a riscos de contaminação. Amostras de esponja sintética dupla face (verde e amarela) e de palha de aço foram caracterizadas por análise térmica (TG/DTG, DTA e DSC) empregando atmosfera dinâmica de ar e de N₂. Essas amostras foram estudadas por métodos cinéticos por termogravimetria isotérmica e não isotérmica. Os parâmetros cinéticos obtidos permitiram estimar os tempos necessários para a decomposição de ambas as partes da amostra da esponja sintética e também da palha de aço sob atmosfera de ar. Os resultados evidenciaram claramente que a matriz polimétrica da esponja sintética para ser degradada completamente exige um tempo muito longo, acima de 20.000 anos. Por outro lado, os resultados indicaram comportamento similar entre as amostras de esponja sintética e de palha de aço considerando apenas o efeito temperatura e tipo de atmosfera. Contudo, no cotidiano sabe-se que a palha de aço se oxida muito facilmente sob atmosfera de ar na presença de umidade.

ABSTRACT

Neres, R.A, **Thermal Characterization of Synthetic Sponge Double Sided and Straw Steel samples.** 2014 Number of pages 78. Dissertation -. Graduate Programme in Chemistry. Institute of Chemistry, University of São Paulo.

Keywords: steel wool, synthetic sponge, TG/DTG, DSC and kinetics of thermal decomposition.

This work aims at a comparative characterization of degradation behavior and / or thermal decomposition of synthetic double-face sponge, polyurethane base (yellow part and green part), and steel wool, from thermoanalytical techniques. Synthetic sponges for household cleaning, replacing steel wool, despite the economic advantage, may have restrictions on discharges to the environment or expose the user to risks of contamination. Samples dual synthetic sponge face (green and yellow) and steel wool were characterized by thermal analysis (TG/DTG and DTA DSC) employing an atmosphere of air and N₂. These samples were studied by kinetic methods isothermal and non-isothermal thermogravimetric analysis. The kinetic parameters obtained allowed the estimation necessary for decomposition of the sample both sides of the synthetic sponge and also of steel straw times under air atmosphere. The results clearly showed that polymetric matrix of synthetic sponge to be degraded completely requires a very long time, over 20,000 years. Moreover, the results showed similar behavior among synthetic sponge and steel wool sample considering only the effect of temperature and type of atmosphere. However, in daily life it is known that the steel wool oxidizes very easily under air atmosphere in the presence of moisture.

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 2.1. Símbolo da reciclagem.....	18
Figura 2.2. Fórmula estrutural de um poliuretano.....	21
Figura 2.3. Principais reações dos isocianatos.....	23
Figura 2.4. Ilustração da máquina para produção de lã de aço.....	26
Figura 3.1. Diferentes tipos de materiais que podem ser estudados por Análise Térmica.....	29
Figura 3.2. Estudos que podem ser desenvolvidos por Análise Térmica.....	29
Figura 3.3. Demonstração dos perfis das curvas TG: a) TG isotérmica; b) TG quase-isotérmica; c) TG dinâmica ou convencional.....	33
Figura 3.4. Curvas TG/DTG obtidas sob atmosfera dinâmica de ar ($50 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$) e razão de aquecimento de $10^\circ\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$ de uma amostra de $\text{CaC}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	35
Figura 3.5. Curva DSC de uma amostra de In^0 obtida com β de $10^\circ\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$ e $-10^\circ\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$, sob atmosfera dinâmica de N_2 ($50 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$) e $m = 9,39 \text{ mg}$	36
Figura 4.1. Ilustração da Termobalança TGA-51.....	43
Figura 4.2. Ilustração da Célula DSC-50.....	44
Figura 4.3. Ilustração do equipamento DTG-50.....	44
Figura 4.4. Ilustração das curvas TG/T genéricas representando o método para obtenção das isotermas.....	46
Figura 4.5. Ilustração do microscópio eletrônico de varredura JSM 7404F.....	47
Figura 5.1. Esquema ilustrativo das etapas envolvidas na caracterização das amostras.....	48
Figura 5.2. Espectros de absorção na região do infravermelho das amostras da parte verde e da parte amarela da esponja sintética.....	50
Figura 5.3. Sobreposição das curvas TG/DTG obtidas a $20^\circ\text{C}/\text{min}$ e sob atmosfera dinâmica de ar e N_2 ($50 \text{ mL}/\text{min}$) da parte amarela da esponja sintética.....	51
Figura 5.4. Sobreposição das curvas TG/DTG e DSC obtidas a $10^\circ\text{C}/\text{min}$ sob atmosfera dinâmica de N_2 da amostra da parte amarela da esponja sintética.....	52
Figura 5.5. Sobreposição das curvas TG/DTG obtidas a $20^\circ\text{C}/\text{min}$ e sob atmosfera dinâmica de ar e N_2 ($50 \text{ mL}/\text{min}$) da parte verde da esponja sintética.....	53

Figura 5.6.	Imagem do teste qualitativo que confirma presença de CaCO_3 no resíduo de decomposição térmica isolado a 600°C da amostra da parte verde da esponja sintética.....	54
Figura 5.7.	Sobreposição das curvas TG/DTG e DTA obtidas a $10^\circ\text{C}/\text{min}$ e sob atmosfera dinâmica de ar ($50\text{mL}/\text{min}$) da parte verde da esponja sintética.....	55
Figura 5.8.	Curvas TG/DTG obtidas a 5°C e sob atmosfera dinâmica de ar ($50\text{mL}/\text{min}$) da amostras de palha de aço.....	56
Figura 5.9.	Imagem obtida através de MEV da parte amarela da esponja sintética.....	57
Figura 5.10.	Imagens de MEV/EDS de resíduos obtidos sob atmosfera dinâmica de ar de amostra da parte verde da esponja sintética.....	57
Figura 5.11.	Imagens de MEV/EDS de resíduos obtidos sob atmosfera dinâmica de N_2 de amostra da parte verde da esponja sintética.....	58
Figura 5.12.	Curvas TG isotérmicas obtidas em atmosfera dinâmica de ar entre 230 e 250°C da amostra da parte amarela da esponja sintética e Gráfico de Arrhenius.....	59
Figura 5.13.	Curvas TG isotérmicas obtidas em atmosfera dinâmica de N_2 entre 235 e 255°C da amostra da parte amarela da esponja sintética e Gráfico de Arrhenius.....	60
Figura 5.14.	Curvas TG isotérmicas obtidas em atmosfera dinâmica de ar entre 250 e 275°C da amostra da parte verde da esponja sintética e Gráfico de Arrhenius.....	62
Figura 5.15.	Sobreposição das curvas TG/DTG obtidas sob atmosfera dinâmica de ar da amostra da parte amarela da esponja sintética	64
Figura 5.16.	Gráficos de $\text{Log } \beta$ vs $1/T$ e $G(x)$ vs tempo reduzido construídos a partir das curvas TG/DTG obtidas sob atmosfera dinâmica de ar da parte amarela da esponja sintética.....	65
Figura 5.17.	Curvas TG e DTG obtidas sob atmosfera dinâmica de N_2 da amostra da parte amarela da esponja sintética	65
Figura 5.18.	Gráficos de $\text{Log } \beta$ vs $1/T$ e $G(x)$ vs tempo reduzido construídos a partir das curvas TG/DTG obtidas sob atmosfera dinâmica de N_2 da parte amarela da esponja sintética.....	65
Figura 5.19.	Sobreposição das curvas TG e DTG obtidas sob atmosfera de ar da amostra da parte verde da esponja sintética.....	67
Figura 5.20.	Gráficos de $\text{Log } \beta$ vs $1/T$ e $G(x)$ vs tempo reduzido construídos a partir das curvas TG/DTG obtidas sob atmosfera dinâmica de N_2 da parte verde da esponja sintética.....	67

- Figura 5.21. Sobreposição das curvas TG/DTG obtidas sob atmosfera dinâmica de N_2 amostra da amostra da parte verde da esponja sintética..... 68
- Figura 5.22. Sobreposição das curvas TG/DTG obtidas sob atmosfera dinâmica de ar da amostra de palha de aço..... 70

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 2.1. Tempo de degradação dos materiais.....	19
Tabela 2.2. Diferentes tipos de plásticos e respectivos símbolos.....	20
Tabela 2.3. Compostos com hidrogênio ativo.....	22
Tabela 2.4. Isocianatos comerciais.....	23
Tabela 2.5. Principais reações dos isocianatos.....	24
Tabela 3.1. Classificação das principais técnicas termoanalíticas.....	31
Tabela 4.1. Composição química do arame de aço.....	42
Tabela 5.1. Resultados de análise elementar das amostras de esponja sintética (parte amarela e parte verde).....	49
Tabela 5.2. Resultados termogravimétricos de cada etapa da decomposição térmica da parte amarela da amostra da esponja sintética sob atmosfera de ar e N ₂	51
Tabela 5.3. Resultados termogravimétricos de cada etapa da decomposição térmica da parte verde da amostra da esponja sintética sob atmosfera de ar e N ₂	54
Tabela 5.4. Dados extraídos das curvas TGs isotérmicas em atmosfera dinâmica de ar da amostra da parte amarela da esponja sintética.....	60
Tabela 5.5. Dados extraídos das curvas TGs isotérmicas em atmosfera dinâmica de N ₂ da amostra da parte amarela da esponja sintética.....	61
Tabela 5.6. Dados extraídos das curvas TGs isotérmicas em atmosfera de ar da amostra da parte verde de esponja sintética.....	62
Tabela 5.7. Parâmetros cinéticos obtidos a partir dos métodos termogravimétricos da parte amarela e verde da esponja sintética.....	69

SUMÁRIO

	Página
1. INTRODUÇÃO E OBJETIVOS.....	14
2. REVISÃO DA LITERATURA.....	16
2.1. Lixo	16
2.1.1. Plásticos.....	18
2.1.1.1 Esponja Verde e Amarela	21
2.1.1.2. Poliuretano.....	21
2.2. Palha de Aço.....	25
2.3. Palha de Aço e Esponja Sintética	27
3. TÉCNICAS DE CARACTERIZAÇÃO.....	28
3.1. Análise Térmica.....	28
3.1.1. Termogravimetria (TG)/Termogravimetria Derivada (DTG).....	31
3.1.2. Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC).....	35
3.1.3. Métodos Cinéticos.....	37
3.1.3.1. Método Isotérmico.....	39
3.1.3.2. Método Não-Isotérmico ou Dinâmico.....	39
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	42
4.1. Material.....	42
4.2. Métodos.....	43
4.2.1. Estudo Termoanalítico.....	43
4.2.1.1. Termogravimetria(TG)/Termogravimetria Derivada (DTG).....	43
4.2.1.2. Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC).....	44
4.2.1.3. Termogravimetria (TG)/Termogravimetria Derivada (DTG)/Análise Térmica Diferencial (DTA).....	44
4.2.1.4. Estudo Cinético - Método Isotérmico.....	45

4.2.1.4.1. Método Não Isotérmico ou Dinâmico (Método de Ozawa).....	46
4.2.2 MEV/EDS.....	47
4.2.3 Análise Elementar.....	47
4.2.4 Espectroscopia na Região do Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR).....	47
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	48
5.1 Aspectos Gerais.....	48
5.2 Análise Elementar.....	49
5.3. Espectroscopia Vibracional no Infravermelho.....	49
5.4. Caracterização Termoanalítica das Amostras.....	50
5.4.1. Parte Amarela da Amostra da Esponja Sintética.....	50
5.4.2. Parte Verde da Amostra de Esponja Sintética.....	52
5.4.3. Palha de Aço.....	55
5.5 Microscopia Eletrônica de Varredura/Espectroscopia de Energia Dispersiva (MEV/EDS).....	56
5.6. Estudo da Cinética de Decomposição Térmica.....	58
5.6.1 Método Isotérmico.....	58
5.6.1.1. Isoterma Parte Amarela da Esponja Sintética.....	58
5.6.1.2. Isoterma Parte Verde da Esponja Sintética.....	61
5.7. Método Não Isotérmico ou Dinâmico.....	63
5.7.1 Parte Amarela da Esponja.....	63
5.7.2 Parte Verde da Esponja.....	66
5.8. Palha de Aço.....	69
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	71
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	72

1. INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

O desenvolvimento de novos materiais tem representado um grande ganho para a população de modo geral e para a indústria de modo específico, uma vez que a tecnologia dos materiais permite o menor custo dos produtos e maior versatilidade. Um exemplo disso foi o surgimento do plástico, que representou um divisor de águas na história industrial (CANAUD, 2007).

O plástico é um material orgânico, feito a partir de compostos derivados do petróleo, com baixa densidade e grande durabilidade, constituindo inúmeras vantagens e proporcionando um vasto campo funcional (CANAUD, 2007).

Este material tem substituído outros materiais de menor durabilidade e/ou maior custo como vidro, metal, papel, etc. No uso doméstico, além da presença do plástico nos utensílios, este também tem atuado na substituição da palha de aço pelas esponjas sintéticas, que possuem em sua composição materiais inorgânicos como cargas abrasivas e uma base constituída de materiais poliméricos, como por exemplo, o poliuretano. (CANAUD, 2007)

Contudo, o plástico apresenta como desvantagem o mesmo fator que o coloca em vantagem, pois sua durabilidade significa também um alto tempo de decomposição na natureza, gerando grande impacto ambiental. Portanto é de grande importância que haja preocupação tanto em relação à indústria quanto em relação aos consumidores sobre o descarte e consequências geradas por esse ‘novo lixo’. É importante que a sociedade saiba claramente o que pode gerar o uso desse produto e conhecer as alternativas menos poluentes. (CANAUD, 2007)

Embora o lixo tenha sido tema de inúmeras discussões em diversas áreas do conhecimento, que se preocupam com o adequado armazenamento dos resíduos devido ao crescimento e esgotamento das capacidades dos aterros, poucas medidas efetivas e diminuição do volume do lixo se concretizam. Fator agravado pelo aumento populacional e pelo descaso da indústria, pois novos produtos são inseridos no mercado, sem que nenhum estudo sobre seu resíduo e seu devido descarte seja feito, no momento da produção. (CINTRA, 1999)

Este trabalho tem como objetivo ajudar no estudo de parte deste lixo por meio da caracterização comparativa do comportamento de degradação/decomposição térmica da esponja sintética, (base poliuretana, parte amarela e parte verde) e palha de aço (ferro com pequena quantidade de carbono) a partir da análise térmica (TG/DTG e DTA/DSC) e técnicas complementares (MEV/EDS, FTIR e análise elementar).

Para tanto, fez-se uma revisão da literatura a respeito do lixo, do plástico, da esponja sintética e da palha de aço para maior conhecimento a respeito da forma de fabricação industrial da palha de aço e o do que há descrito sobre a esponja.

Em seguida, apresentam-se as técnicas de caracterização termoanalíticas (TG/DTG e DTA/DSC) com métodos cinéticos, a fim de estudar o comportamento térmico da esponja sintética e da palha de aço, visando conhecer a estabilidade térmica e as etapas envolvidas na decomposição térmica dos materiais. Os resultados são apresentados separadamente para cada material. Buscou-se fazer uma discussão que possibilitasse a comparação entre o comportamento térmico dos constituintes da esponja sintética e destes com a palha de aço, todos materiais utilizados para a limpeza doméstica. Nas conclusões alertou-se quanto ao descarte dos materiais e dos prováveis impactos ambientais relacionados ao comportamento de degradação em relação ao tempo.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. Lixo

Tudo o que existe e vive deve ser cuidado para continuar a existir. A essência humana reside na capacidade de tomar este cuidado. Talvez seja este, o maior desafio da capacidade inventiva do ser humano, despertar a sensibilidade e a responsabilidade com os cuidados com a Terra.

Leonardo Boff

O lixo de ontem e o lixo de hoje: Os primeiros homens na história eram nômades, suas residências temporárias, em cavernas, sobreviviam da caça e pesca, vestiam-se de peles e eram em números bem menores que hoje vivendo sobre a terra. Quando a comida ficava escassa no local em que estavam, se mudavam para outra região e os seus "lixos", deixados sobre o meio ambiente, eram logo decompostos pela ação do tempo. Conforme o homem foi tornando-se civilizado, começaram a existir novas necessidades. Assim, ele passou a produzir materiais para aumentar seu conforto: vasilhames de cerâmica, instrumentos para o plantio, roupas mais apropriadas. Com isso precisava obter moradia fixa, iniciando a construção de casas, criação de animais, cultivo de alimentos, etc...

O inevitável aconteceu, a produção de lixo começou a aumentar, porém ainda não se caracterizava como um problema mundial. Com o passar dos anos esse desenvolvimento foi se acentuando, a população humana aumentando, aconteceria então a revolução industrial. Houve um salto na produção em série de bens de consumo, e foi aí que aumentou a preocupação com a geração e o descarte do lixo, porém não o suficiente, pois o desenvolvimento era mais importante que suas consequências! Só a partir da segunda metade do século XX houve uma intensa conscientização com o planeta, com a descoberta dos buracos na camada de ozônio e o aquecimento global da terra, a população mundial começou a ficar atenta para o que estava acontecendo com o meio ambiente. Com isso o problema da geração e destinação final do lixo foi encarada, porém até hoje não vem sendo tratada com a urgência

necessária, melhorias estão sendo feitas mas vagarosamente, comparado com a devida urgência que o problema exige. (CINTRA; ARAÚJO. *Online*).

O lado trágico dessa história é que o lixo é um indicador curioso de desenvolvimento de uma nação. Quanto mais pujante for a economia, mais sujeira o país irá produzir. É o sinal de que o país está crescendo, de que as pessoas estão consumindo mais. O problema está ganhando uma dimensão perigosa por causa da mudança no perfil do lixo. Na metade do século, a composição do lixo era predominantemente de matéria orgânica, de restos de comida. Com o avanço da tecnologia, materiais como plásticos, isopores, pilhas, baterias de celular e lâmpadas são presença cada vez mais constante na coleta. Há cinquenta anos, os bebês utilizavam fraldas de pano, que não eram jogadas fora. Tomavam sopa feita em casa e bebiam leite mantido em garrafas reutilizáveis. Hoje, os bebês usam fraldas descartáveis, tomam sopa em potinhos que são jogados fora e bebem leite embalado em tetrapak. Ao final de uma semana de vida, o lixo que eles produzem equivale, em volume, a quatro vezes o seu tamanho. Um dos maiores problemas do lixo é que grande parte das pessoas pensa que basta jogar o lixo na lata e o problema da sujeira vai estar resolvido. Nada disso. O problema só começa aí. (CINTRA, ARAÚJO, 1999 Online)

O crescimento demográfico gera um grande aumento dos resíduos. É impossível não produzir lixo, além do que as pessoas adquirem o hábito de consumir muito mais do que necessitam. Estes são jogados no ar, água e solo, provocando uma poluição irreversível. Existe uma maneira de diminuir essa produção exacerbada de lixo, diminuindo o descarte para a natureza de materiais recicláveis pela coleta seletiva. Tal processo resulta na diminuição considerável do lixo além de gerar renda para as pessoas que exercerem esse trabalho. (SILVA, MELLO, 2011). No entanto tal processo seria inútil no caso da esponja sintética, visto que ainda não há possibilidade de produzir algo útil com sua reciclagem. A tecnologia nos trouxe muitos avanços e melhorias. Porém, há muitas críticas quanto a esse progresso, visto que seu custo é excessivamente alto para a natureza. A Tabela 2.1 lista o tempo médio de decomposição de alguns materiais.

Muitos produtos obtidos com material tóxico, não degradável e agressivo ao meio-ambiente, como grande parte dos bens de consumo do nosso dia-a-dia são sintéticos e, portanto, produzidos com plásticos, derivados do petróleo e não degradáveis. Esses materiais sintéticos ao serem descartados geram lixo poluindo o meio ambiente.

O crescimento demográfico aumenta esse problema, a população consome mais do que o necessário, e isso gera subprodutos, que é lançado ao ar, água, solo, desencadeando uma poluição irreversível. A produção do lixo é inevitável, porém há como minimizar esse impacto, colocando em prática os 3R: reduzir, reutilizar, reciclar. Na Figura 2.1, observa-se o símbolo empregado internacionalmente para representar a reciclagem.

Figura 2.1. Símbolo Internacional da Reciclagem

Em relação a produtos de limpeza observa-se que alguns, desenvolvidos inicialmente como ambientalmente corretos, foram substituídos por outros, economicamente mais favoráveis, mas que apresentam restrições de descartes para o meio ambiente ou pode expor o usuário a riscos de contaminação. O exemplo mais evidente é introdução de esponjas sintéticas para limpeza doméstica em substituição à palha de aço. A palha de aço é um material produzido a partir de uma matéria prima oriunda da natureza que, devido às suas propriedades características, ao ser decomposta retorna para a natureza regenerando a mesma matéria prima que lhe deu origem. Por outro lado, a esponja sintética possui na sua composição materiais inorgânicos como cargas abrasivas e uma base constituída de materiais poliméricos, que após o descarte poluem o meio ambiente e ainda demoram longo tempo para sua completa degradação. Ainda se forem submetidos a processos de queima, visando incineração, além de consumirem O_2 geram CO_2 e gases tóxicos que são danosos para o nosso ecossistema. Assim esses produtos exigem preocupações e cuidados especiais no momento do descarte.

2.1.1. Plásticos

O plástico tem mostrado uma versatilidade muito grande ao ser usado na indústria automobilística, construção civil, móveis, vestuário, decoração, embalagens, etc, substituindo materiais como metais, cerâmicas, madeira, vidro e papel, pois possui vantagens em relação ao uso desses materiais: tem fácil transporte, menor custo energético quanto ao processamento e grande durabilidade. Os materiais plásticos podem ser rígidos, flexíveis, indeformáveis, leves e de fácil manipulação. Além de serem também vantajosos no que se refere à higiene, resistência ao ataque de insetos, roedores, isolamento

Tabela 2.1. Tempo de Degradação dos Materiais

<i>Resíduo</i>	<i>Tempo</i>
Jornais	de 2 a 6 semanas
Embalagens de papel	de 1 a 4 meses
Guardanapos de papel	3 meses
Pontas de cigarro	2 anos
Palito de fósforo	2 anos
Chiclete	5 anos
Cascas de frutas	3 meses
Nylon	de 30 a 40 anos
Copinhos de plástico	de 200 a 450 anos
Latas de alumínio	de 100 a 500 anos
Tampinhas de garrafa	de 100 a 500 anos
Pilhas e baterias	de 100 a 500 anos
Garrafas de plástico	mais de 500 anos
Pano	de 6 a 12 meses
Vidro	Indeterminado
Madeira pintada	13 anos
Fralda descartável	600 anos
Pneus	Indeterminado

(Grippi, 2003)

térmico, impermeabilização do solo em aterros sanitários, entre outras aplicações. Na Tabela 2.1. estão descritos alguns tipos de plásticos.

Apesar de sua versatilidade no uso industrial, os materiais representados e descritos na Tabela 2.2. geram lixo, resíduo. O Brasil é um país predominantemente pobre, o desperdício agrava esta situação, pois o país deixa de ganhar cerca de R\$ 4,6 bilhões anuais por deixar de investir de maneira responsável na coleta seletiva e na reciclagem. O que é pior: a deposição incorreta de plásticos é feita há muito tempo pelo homem, deixando como legados impactos negativos ao meio ambiente.

Como o plástico tem baixa densidade, ocupa grande volume, fato esse observado por aparecer mais no lixo urbano, lixões, vias públicas, encostas, morros, causando vários problemas como: impedir o escoamento das águas, entupimento de bueiros, etc.

Outro problema triste de se pensar é a não existência de uma organização ou de uma política efetiva para o controle e gerenciamento desse lixo plástico, nem em relação à melhoria das condições de vida das pessoas que vivem em torno dos lixões. O destino mais comum do plástico acaba sendo aterros sanitários e incineração, quando o ideal seria a instalação de usinas de triagem e a promoção da coleta seletiva, que é considerada a mais importante alternativa em termos de desenvolvimento sustentável definido pela Organização das Nações Unidas (ONU).

Tabela 2.2. Diferentes tipos de plásticos e respectivos símbolos

Poli(etileno tereftalato) → O já conhecido de todos nós: PET, usado em garrafas de água e refrigerante, fibras sintéticas, embalagens alimentícias etc. Tem ótimo potencial para ser reciclado e reutilizado.
Polietileno de alta densidade → Engradados de bebidas, baldes, frascos de shampoos, detergentes, outros produtos químicos, etc...
Policloreto de vinila → Canos e tubos da construção civil, telhas, lonas, calçados, brinquedos, cortinas, mangueiras, calçados, bolsas de sangue e soro, etc. Embora seja reciclável, o PVC pode liberar substâncias químicas altamente danosas ao meio ambiente e à saúde humana.
Polietileno de baixa densidade → embalagens alimentícias, sacos de lixo, filmes em geral, bolsas de diversos tipos, garrafas térmicas, etc.
Polipropileno → potes de temperos, condimentos e iogurtes, sacos plásticos de supermercados, embalagens de bombons, eletrodomésticos, brinquedos, seringas descartáveis, auto-peças, etc.
Poliestireno → copos descartáveis, embalagens de alimentos, alguns talheres de plástico, eletrodomésticos etc. Faz parte desta família o isopor.
Todos os demais plásticos → o problema é que nessa categoria se enquadram tanto plásticos que podem ser prejudiciais ao meio ambiente quanto os plástico biodegradáveis, que são altamente ecológicos.

De acordo com Pacheco(Online),

A transferência dos catadores para usinas de reciclagem ou triagem propicia impactos psicológicos positivos nessa classe informal de trabalhadores, pelo fato de lhes conceder cidadania. [Ao passo que], A não-reciclagem gera impacto psicológico negativo pela má deposição das embalagens nas ruas, nos rios e córregos. Um local de moradia asseado, sem lixo, possibilita uma satisfação de vida. (PACHECO, Online)

2.1.1.1. Esponja Verde e Amarela

A esponja sintética dupla face, multiuso para limpeza doméstica, é constituída de uma parte verde e outra amarela, com indicação no rótulo da seguinte composição: “espuma de poliuretano, bactericida e fibra sintética com material abrasivo”. Poucos são os relatos quanto a estudos que detalham a composição da parte verde da esponja, assim como, as consequências associadas ao descarte e à forma de degradação de ambas as partes da esponja sintética no ambiente.

2.1.1.2. Poliuretano

O poliuretano (PU) fórmula estrutural ilustrada na Figura 2.2, material empregado na esponja sintética, é um polímero formado por unidades orgânicas unidas por ligações uretânicas, formando cadeias. É produzido pela reação de poliadição de um isocianato e um poliálcool, é amplamente utilizado em vários setores da indústria (SILVEIRA et al. 2007 e YOUSSEF et al. 2007). “Sua estrutura pode ser celular (espumas flexíveis, semi-rígidas e rígidas, e elastômeros microcelulares) ou sólida (elastômeros, revestimentos, selantes, adesivos, etc.)” (FERREIRA, 2004, p. 35).

Figura 2.2 – Fórmula estrutural de um poliuretano

Tal variedade estrutural se dá pelas diferentes ligações entre os vários tipos de isocianatos (aromáticos, alifáticos, ciclo-alifáticos ou policíclicos) e polióis¹. “Esta flexibilidade permite obter uma infinita variedade de compostos com diferentes propriedades físicas e químicas de acordo com necessidades específicas de uma determinada aplicação e faz com que os PUs ocupem posição importante no mercado mundial de polímeros sintéticos de alto desempenho” (CANAUD, 2007, p. 3.). Os isocianatos contêm o grupo funcional $O=C=N-$. Esse grupo reage com compostos que possuam átomos de hidrogênio ativo, como os polióis, conforme Tabela 2.3.

Tabela 2.3. Compostos com hidrogênio ativo

COMPOSTO COM HIDROGÊNIO ATIVO	ESTRUTURA TÍPICA
Amina alifática primária	$R-NH_2$
Amina alifática secundária	$RR'NH$
Amina aromática primária	$Ar-NH_2$
Hidroxila primária	RCH_2-OH
Água	HOH
Ácido carboxílico	$RCOOH$
Hidroxila secundária	$RR'CH-OH$
Uréia	$R-NH-CO-NH-R$
Hidroxila terciária	$RR'R''C-OH$
Uretano	$R-NH-CO-O-R$

Na Tabela 2.4 são ilustrados os isocianatos usados comercialmente, que possuem no mínimo dois grupos funcionais, os quais mais de 95% são aromáticos à base de tolueno diisocianato (TDI) e difenilmetano diisocianato (MDI). Existem ainda muitos outros tipos, usados de acordo com sua funcionalidade.

¹ Polioli é uma grande variedade de compostos que contêm grupamentos hidroxilas, que são capazes de reagir com isocianatos formando poliuretanos. Seu peso molecular varia de acordo com a sua utilização.

Tabela 2.4. Isocianatos comerciais

NOME COMERCIAL / CIENTÍFICO	FÓRMULA	ESTRUTURA	PESO MOLECULAR	DENSIDADE	TOXICIDADE
2,4-tolueno diisocianato (TDI)/2,4-diisocianato de 1-metil-benzeno	$C_9H_6O_2N_2$		174,2	1,061 (20°C)	Tóxico
2,6-tolueno diisocianato (TDI)/2,6-diisocianato de 1-metil-benzeno	$C_9H_6O_2N_2$		174,2	1,2271 (20°C)	Tóxico
Tolueno diisocianato mistura 2,4:2,6=65:35 (TDI-65/35)	$C_9H_6O_2N_2$		174,2	1,222 (20°C)	Tóxico
Tolueno diisocianato mistura 2,4:2,6=80:20 (TDI-80/20)	$C_9H_6O_2N_2$		174,2	1,221 (20°C)	Tóxico
4,4'-difenil metano diisocianato (MDI)/1,1'-metileno bis (4-isocianato benzeno)	$C_{15}H_{10}O_2N_2$		250,3	1,183 (50°C)	Nocivo à saúde
2,4'-difenil metano diisocianato (MDI)/1-isocianato-2-(4-isocianato fenil) metilbenzeno	$C_{15}H_{10}O_2N_2$		250,3	1,192 (40°C)	Nocivo à saúde
2,2'-difenil metano diisocianato (MDI)/1,1'-metileno bis (2-isocianato benzeno)	$C_{15}H_{10}O_2N_2$		250,3	1,188 (50°C)	Nocivo à saúde
Hexametileno diisocianato (HDI)/1,6-diisocianato hexano	$C_8H_{12}O_2N_2$	OCN-(CH ₂) ₆ -NCO	168,2	1,047 (20°C)	Tóxico
Isoforona diisocianato (IPDI)/5-isocianato-1-(metilisocianato)-1,3,3'-trimetil ciclohexano	$C_{12}H_{18}O_2N_2$		222,3	1,061 (20°C)	Tóxico
Meta-tetrametilxileno diisocianato (TMXDI) / bis (isocianato-1-metil- 1-etil)-1,3-benzeno	$C_{14}H_{16}N_2O_2$		244,3	1,05 (20°C)	Nocivo à saúde
4,4'-díciclohexilmetano diisocianato (HMDI)/1,1'-metileno-bis(4-isocianato ciclohexano)	$C_{15}H_{22}O_2N_2$		262,3	-	Tóxico
Trifenilmetano-4,4',4''-triisocianato/1,1',1''-metilenotris (4 isocianato benzeno)	$C_{22}H_{13}O_3N_3$		367,4	-	Nocivo à saúde
Naftaleno 1,5-diisocianato (NDI)/1,5 diisocianato naftaleno	$C_{12}H_6O_2N_2$		210,2	1,450 (20°C)	Nocivo à saúde

(VILAR, 2004)

Na Tabela 2.5. encontram-se as principais reações dos isocianatos. A reação de polimerização (1), entre um álcool e um isocianato formando o PU é exotérmica, normalmente catalisada por bases, principalmente as aminas terciárias e organometais.

Tabela 2.5. Principais reações dos isocianatos

1	ÁLCOOIS:	$R - NCO + R'OH$	$\longrightarrow$	$RNH - CO - OR'$ (uretano)
2	AMINAS:	$R - NCO + R'NH_2$	$\longrightarrow$	$RNH - CO - NHR'$ (uréia)
3	ÁGUA:	$R - NCO + H_2O$	$\longrightarrow$	$RNH - CO - NHR' + CO_2$ (uréia)
4	URETANO:	$R - NCO + RNHCOOR'$	$\longrightarrow$	$CONHR - RNH - CO - OR'$ (alofanato)
5	URÉIA:	$R - NCO + RNHCOONHR'$	$\longrightarrow$	$CONHR - RNH - CO - OR'$ (biureto)

(VILAR, 2004)

A tecnologia do poliuretano é recente, mas a química da uretana data de 1849, quando Wurtz e Hoffmann divulgaram reações envolvendo um isocianato e um composto hidroxílico. Depois de ser testado muito tempo em reações laboratoriais, em 1937, na Alemanha, Dr. Otto Bayer e colaboradores começaram a explorar o uso comercial dos isocianatos, dando início à indústria de poliuretanos. (VILAR, 2004, *Online*). Bayer e colaboradores desenvolveram um processo onde, a partir de dois compostos (um poliisocianato e um poliálcool ou outros reagentes contendo dois ou mais grupos hidroxilas), obtinham um terceiro com estrutura macromolecular, pela reação de poliadição. Os compostos contendo hidroxilas podem variar quanto a peso molecular, funcionalidade, etc. Estes pesquisadores começaram a trabalhar no desenvolvimento de polímeros à base de poliésteres, que se tornariam competitivos com o nylon. Depois, com o acontecimento da II Guerra mundial e conseqüente carência de materiais de borracha, houve um grande estímulo para a pesquisa de produtos a base de

uretana, para aplicações como fibras, cerdas, adesivos, revestimentos, elastômeros e espumas. Pesquisas fortes realizadas nos EUA e Inglaterra propiciaram o conhecimento mundial da tecnologia poliuretana. (Ibid.)

Na década de 1950 registrou-se um avanço comercial do poliuretano em espumas flexíveis, graças à introdução dos polióis e poliésteres; o uso de novos produtos viabilizou a fabricação de espumas com melhor qualidade e menor custo. (Ibid.)

Em 1959 surgiu a primeira fábrica de espuma flexível usando a técnica de espumação “*One Shot*” (uma só etapa), que dispensa o uso de prepolímeros formados pela reação prévia de isocianato e polioli, ocasionando o desenvolvimento de espumas flexíveis para aplicações de grande volume, sendo hoje o processo mais utilizado. (Ibid.)

No Brasil, surgiram em 1961, na região sudeste, as primeiras fábricas de espuma flexível, com equipamentos trazidos da Europa e a dependência de matéria-prima importada para seu funcionamento. Nos anos 70 houve a disseminação do processo descontínuo que exigia baixo investimento. Nos anos 80, o crescimento comercial exigiu a ampliação de pesquisas científicas e o aperfeiçoamento da técnica, propiciando estudos das relações entre estrutura molecular e propriedades do poliuretano. (Ibid.)

Na década de 1990 e no início deste milênio começou a preocupação com o meio ambiente, pesquisas voltadas para a substituição dos CFC's, sistemas que não contenham compostos orgânicos voláteis, processos de reciclagem e também, a preocupação em reduzir a quantidade de lixo no meio ambiente, empregando processo de incineração. Orzel e colaboradores relataram que espumas flexíveis de poliuretano quando submetidas a um processo de decomposição térmica, podem gerar CO, CO₂, hidrocarbonetos leves e, a temperaturas maiores que 800°C, HCN e outros compostos contendo nitrogênio. Estes compostos podem ser tóxicos, dependendo de sua concentração e tempo de exposição. (ORZEL et al., 1989).

2.2. Palha de Aço

A **palha de aço** é produzida a partir de arames de aço com baixo teor de carbono, por um processo chamado trefilação, ou seja, o arame é descamado por um sistema de lâminas de corte, formando fios finos, que em seguida são enrolados para conformar a peça da esponja (Figura 2.4). A espessura dos fios varia de acordo com o grau de ajuste das lâminas de corte do aço. Essa peça é vendida comercialmente sob a forma de esponjas de aço.

Figura 2.4. Ilustração da máquina para produção de lã de aço.

A esponja de aço é um material de fácil oxidação, que ao ser queimado, devido a reação do Fe^0 com o O_2 apresenta uma elevação da sua massa inicial. Essa é uma das qualidades ‘ambientalmente’ corretas da palha de aço, visto que retorna ao seu estado natural sem danos ambientais nem prejuízos a saúde (pode formar FeO ou Fe_2O_3 que é a forma mais estável dos óxidos).

A corrosão do ferro é sua deterioração por meio de processo eletroquímico, o que ocorre em muitos materiais a nossa volta, como por exemplo, a película verde formada sobre o bronze, o escurecimento da prata, etc. Mas, o exemplo mais comum é a formação de ferrugem sobre o ferro, onde é necessária a presença de O_2 e H_2O . A superfície do metal funciona como eletrodo negativo (ânodo), os elétrons liberados são conduzidos para uma região que funcionará como eletrodo positivo (cátodo) onde ocorrerá a redução do O_2 atmosférico. A oxidação do ferro se dará apenas na presença de água, conforme ilustrado na equação 2.1, simplificada abaixo (FRANCISCO JUNIOR; DOCHI, 2006, p. 50):

O hidróxido ferro (III) será transformado em óxido de ferro (III) hidratado, ou seja, ferrugem, (equação 2.2) também na presença de água(Ibid.):

2.3. Palha de Aço e Esponja sintética

A busca na literatura não nos levou a apresentar publicações de trabalhos científicos voltados para estudos sistemáticos e comparativos de caracterização termoanalítica da esponja sintética e da palha de aço. Estudos dessa natureza certamente forneceriam informações quanto às características, benefícios e impactos ambientais causados por esses produtos empregados para limpeza doméstica, tanto quanto ao uso como ao descarte. Poder-se-ia também indicar procedimentos adequados para torná-los mais resistentes ou não descartáveis para a reutilização e produção de menor quantidade de lixo ou de resíduos em condições de serem reciclados aos materiais de partida ou transformados em materiais para outros fins. Esse é o pensamento atual de muitas empresas que já começaram a desenvolver produtos ecologicamente corretos, respeitando os três R's da ecologia: Reduzir, Reutilizar e Reciclar.

3. TÉCNICAS DE CARACTERIZAÇÃO

Estudos de análise térmica envolvendo processos de decomposição e/ou degradação das amostras em questão, podem permitir a obtenção de importantes informações quanto ao seu comportamento térmico, sob condições estritamente controladas.

3.1. Análise Térmica

A **análise térmica** abrange um grupo de técnicas a partir das quais uma propriedade física de uma substância e/ou seus produtos de reação é medida em função do tempo ou da temperatura enquanto essa substância é medida a uma programação controlada de temperatura (ORZEL et al., 1989; WENDLANDT, 1986).

Em um sistema de análise térmica, a amostra é colocada em um ambiente no qual é possível observar, direta ou indiretamente, uma modificação em função da temperatura e do tempo. As mudanças ocorridas na amostra são monitoradas por um transdutor apropriado, que produz um sinal elétrico análogo à mudança física ou química. Este sinal é amplificado de modo eletrônico e aplicado ao dispositivo de leitura em um registrador. (MATOS; MACHADO, 2004).

A termogravimetria/ termogravimetria derivada (TG/DTG), análise térmica diferencial (DTA) e a calorimetria exploratória diferencial (DSC) são as técnicas termoanalíticas mais difundidas e empregadas para o desenvolvimento de diferentes tipos de estudos e aplicações em grande variedade de materiais. A Figura 3.1 ilustra os diferentes tipos de materiais que podem ser estudados e a Figura 3.2 ilustra os tipos de estudos que podem ser desenvolvidos.

Uma abordagem mais ampla sobre as técnicas termoanalíticas, envolvendo o desenvolvimento, instrumentação e aplicações, foi descrita por vários autores (Mackenzie, 1970; Wendlandt, 1986; Giolito, 1988; Haines, 1995; Cammenga E Epple, 1995; Turi, 1997; Vyazovkin, 2004).

Figura 3.1. Diferentes tipos de materiais que podem ser estudados por Análise Térmica. (MATOS, MERCURI, ARAUJO,; 2009)

Figura 3.2. Estudos que podem ser desenvolvidos por Análise Térmica. (MATOS, MERCURI, ARAUJO,; 2009)

Enquanto a TG permite avaliar a variação da massa da amostra (perda ou ganho) em função do tempo e/ou temperatura, a DSC permite avaliar processos entálpicos (endo e exotérmicos) associados ou não com perda de massa.

Assim, as técnicas termoanalíticas possibilitam a obtenção de informações referentes à estabilidade térmica de um dado material e as etapas envolvidas na sua decomposição/degradação térmica (sua composição e a estabilidade dos compostos intermediários e do produto final). Por ser uma técnica que se aplica a uma grande variedade de materiais, torna possível o desenvolvimento de vários estudos, tais como a estabilidade térmica relativa, polimerização, estudo da cinética de decomposição, caracterização, mudança de estado e grau de cristalinidade dos materiais para melhor conhecer o que ocorre ao longo de sua vida útil, bem como fazer previsão quanto ao tempo necessário para a sua degradação completa no meio ambiente.

Existem também, outras técnicas para medida de outras propriedades, que podem ser empregadas. Na Tabela 3.1, são apresentadas propriedades físicas medidas por análise térmica, as técnicas derivadas e as abreviaturas recomendadas pela Confederação Internacional de Análise Térmica e Calorimetria (ICTAC), para identificá-las (MATOS; MACHADO, 2004).

O grande interesse pelas técnicas termoanalíticas é comprovado através dos três periódicos: *Journal of Thermal Analysis* (março de 1969), *Thermochimica Acta* (março de 1970) e *Thermal Analysis Abstract* (maio de 1972) e a criação da *International Confederation for Thermal Analysis (ICTA)*, em 1965 (a partir de 1993/2 foi aprovada a denominação para *International Confederation for Thermal Analysis and Calorimetry – ICTAC*), que constituem uma forte evidência deste crescimento. Existe, também, o *Thermal Analysis Reviews*, que é publicado nos anos pares pela *Analytical Chemistry*.

Os estudos relacionados à análise térmica foram iniciados, em nosso laboratório, no início da década de 70, através do Prof. Ivo Giolito, objetivando a divulgação e disseminação desta técnica no Brasil. Com a colaboração dos seus ex-orientados, hoje exercendo a profissão em vários lugares do país foi possível a propagação da utilização da Análise Térmica.

Nos últimos 15 anos a formação de novos pesquisadores e o crescente número dos que utilizam as técnicas termoanalíticas em suas pesquisas, associados aos fabricantes desses instrumentos, ampliaram a sua utilização. Atualmente, diversas universidades, centros de pesquisas e indústrias, já dispõem de equipamentos, que estão sendo utilizados como importantes ferramentas de pesquisa, no desenvolvimento de novos produtos, no controle de qualidade, etc (GIOLITO; IONASHIRO, 1980).

No Brasil, em 1997, foi fundada a Associação Brasileira de Análise Térmica e Calorimetria (ABRATEC), que vem organizando, bianualmente, a partir de 1998, os Congressos Brasileiros de Análise Térmica e Calorimetria (CBRATEC). Em 2008 organizou junto com o VI CBRATEC o XIV Congresso Internacional de Análise Térmica e Calorimetria, o XIV ICTAC.

Tabela 3.1. Classificação das principais técnicas termoanalíticas [GIOLITO, 1988, MATOS & MACHADO, 2004]

Propriedade física	Principais técnicas	Abreviatura Aceitável
Massa	Termogravimetria	TG
	Detecção de gás desprendido	EGD
	Análise de gás desprendido	EGA
	Análise térmica por emanção	ETA
Temperatura	Determinação da curva de aquecimento (*)	DTA
	Análise térmica diferencial	
Entalpia	Calorimetria exploratória diferencial (**)	DSC
Dimensões	Termodilatometria	TD
Características mecânicas	Análise termomecânica	TMA
	Análise termomecânica dinâmica	DMA
Características acústicas	Termossonimetria	TS
	Termoacustimetria	
Características ópticas	Termooptometria	TO
Emissão de luz	Termoluminescência	TL
Características elétricas	Termoeletrometria	TE
Características magnéticas	Termomagnetometria	TM

(*) Quando o programa de temperatura for no modo resfriamento, torna-se: determinação da curva de resfriamento.

(**) A confusão surgida acerca desse termo parece ser melhor resolvida separando-se duas modalidades: DSC com Compensação de Potência e DSC com fluxo de calor.

3.1.1. Termogravimetria (TG)/ Termogravimetria Derivada (DTG)

A termogravimetria é a técnica de análise térmica na qual a variação da massa da amostra (perda ou ganho) é determinada em função da temperatura e/ou tempo, enquanto a amostra é submetida a uma programação controlada da temperatura. Os experimentos executados para

mensurar a variação da massa de um material em função da temperatura são obtidos por meio de uma termobalança, que deve permitir o trabalho em diversas condições experimentais.

A termogravimetria possibilita conhecer detalhadamente as alterações que o aquecimento pode provocar na massa das substâncias, permitindo estabelecer a faixa de temperatura em que elas adquirem composição química definida, a temperatura em que começam a se decompor, acompanhar o andamento de reações de desidratação, de oxidação (combustão), de decomposição, etc. A TG pode ser classificada em: isotérmica, quase-isotérmica e dinâmica (Figura 3.3).

Na condição isotérmica, a massa da amostra é registrada em função do tempo à temperatura constante. Na TG quase-isotérmica, a amostra é aquecida até massa constante, a uma razão linear enquanto não ocorre variação de massa, a partir do momento em que a balança detecta a variação de massa o aquecimento é mantido isotérmico e na TG dinâmica há um acompanhamento das variações de massa sofridas pela amostra em função da temperatura, quando esta é submetida a um resfriamento ou aquecimento linear (WENDLANDT, 1986).

Os experimentos de avaliação das variações de massa de um dado material em função da temperatura são executados mediante uma termobalança (associação forno-balança), que deve permitir o trabalho sob as mais variadas condições experimentais, tais como: diferentes atmosferas gasosas e massas de amostras, variáveis razões de aquecimento e/ou condições isotérmicas, etc.

As curvas geradas fornecem informações sobre a estabilidade térmica da amostra, sua composição e a estabilidade dos compostos intermediários e do produto final. Obviamente que, durante os processos térmicos, a amostra deve liberar um produto volátil devido a processos físicos ou químicos, tais como: desidratação, vaporização, dessorção, oxidação, redução, etc.; ou deve interagir com o gás da atmosfera atuante no interior do forno resultando em processos que envolvem ganho de massa, tais como: adsorção, oxidação de ligas ou metais, óxidos e óleos, etc. As variações de massa podem ser determinadas quantitativamente, enquanto outras informações obtidas a partir de uma curva TG são de natureza empírica, visto que as temperaturas dos eventos térmicos são dependentes de parâmetros relacionados a características da amostra e/ou fatores instrumentais (MATOS, 2004).

Pelo método termogravimétrico convencional ou dinâmico são registradas curvas de massa da amostra (m), em função da temperatura (T), ou do tempo (t) (equação 3.1):

$$m = f(T \text{ ou } t) \quad (\text{Eq. 3.1})$$

Nestas curvas são observados degraus em relação ao eixo de ordenadas que correspondem às variações de massa sofridas pela amostra. Os patamares indicam que as espécies existentes naquela faixa de temperatura são termicamente estáveis e os degraus permitem obter dados que podem ser utilizados quantitativamente.

Figura 3.3 Demonstração dos perfis das curvas TG: a) TG isotérmica; b) TG quase-isotérmica; c) TG dinâmica ou convencional. (MATOS, 2004)

Na termogravimetria derivada (DTG), as curvas são registradas a partir das curvas TG e correspondem à derivada primeira da variação de massa em relação ao tempo (dm/dt) que é registrada em função da temperatura ou do tempo, isto é, conforme a equação:

$$dm/dt = f(T \text{ ou } t) \quad (\text{Eq. 3.2})$$

Ou ainda, à derivada primeira da variação de massa em relação à temperatura (dm/dT) que é registrada em função da temperatura ou do tempo, isto é, conforme a equação :

$$dm/dT = f(T \text{ ou } t) \quad (\text{Eq. 3.3})$$

Essa curva pode ser obtida por métodos de diferenciação manual dos dados da curva TG ou por diferenciação eletrônica do sinal de TG. Deve ser compreendido que uma curva DTG não contém mais informações do que uma curva TG integral, obtida sob as mesmas condições experimentais. Ela, simplesmente, apresenta os dados de forma diferente. As informações obtidas a partir da curva DTG podem assim ser resumidas:

- a) A curva DTG apresenta as informações de uma forma mais facilmente visualizáveis.
- b) A curva DTG permite a pronta determinação da temperatura em que a taxa de variação de massa é máxima, T_{pico} , que fornece informações adicionais sobre T_{onset} e T_{endset} . No entanto, todas as três temperaturas respondem a variações nas condições experimentais, e os valores de T_{pico} não são mais característicos de um material do que aqueles de T_i e T_f (MATOS, 2004).
- c) A área do pico sob a curva DTG é diretamente proporcional à variação de massa.
- d) A altura do pico da curva DTG a qualquer temperatura fornece a razão de variação de massa naquela temperatura. Esses valores podem ser usados para obter informações cinéticas, visto que as equações podem ser escritas conforme a equação (WENDLANDT, 1986):

$$- dm/dt = A e^{(-E/RT)} f(m) \quad (\text{Eq. 3.3})$$

Onde :

A = fator pré-exponencial;

E = energia de ativação;

R = constante da lei dos gases ($8,314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$).

A Figura 3.4 ilustra, a partir das curvas TG/DTG, o processo de decomposição térmica de uma amostra de oxalato de cálcio monoidratado ($\text{CaC}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$), que é uma substância padrão utilizada para verificar as condições da instrumentação. Observa-se, a partir das curvas TG/DTG, que os percentuais de variação de massa correspondente a cada etapa são concordantes com os valores calculados, isto é, 1ª. etapa (% de H_2O = 12,33), 2ª. etapa (% de CO = 19,17) e 3ª. etapa (% de CO_2 = 30,12). Como em qualquer técnica instrumental, existe um grande número de fatores que afetam a natureza, precisão e exatidão dos resultados experimentais. Dentre estes, pode-se citar a quantidade de amostra, razão de aquecimento, natureza da atmosfera que atua sobre a mostra, etc (MACKENZIE, 1985).

Figura 3.4. Curvas TG/DTG obtidas sob atmosfera dinâmica de ar ($50 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$) e razão de aquecimento de $10^\circ\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$ de uma amostra de $\text{CaC}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$.

3.1.2. Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC)

A DSC é a técnica na qual se mede a diferença de energia entre a amostra e um material de referência, termicamente estável, ao serem submetidos a uma programação de temperatura rigorosamente controlada. Ambos são acondicionados em cápsulas idênticas, posicionadas sobre um sensor e aquecidas pela mesma fonte de calor, que é controlado por meio de termopares conectados ao sensor. A diferença de temperatura entre a amostra e o material de referência é proporcional à variação de entalpia, à capacidade calorífica e à resistência térmica total ao fluxo de calor. A palavra “diferencial” significa que as medidas são realizadas de forma comparativa da substância analisada com um material de referência termicamente estável. A definição formal das duas técnicas foi aprovada pela IUPAC, publicadas por Mackenzie e Giolito (MCNAUGHTAN, 1975).

A Figura 3.5 ilustra a partir da curva DSC, o processo de aquecimento e resfriamento de uma amostra de índio metálico, que é utilizado como padrão para a calibração e/ ou verificação das condições da instrumentação.

Observa-se, a partir da curva, que os valores de variação de energia correspondente são concordantes com os valores tabelados. De acordo com o método de medida utilizado, tem-se

o DSC com compensação de potência (equipamento desenvolvido pela Perkin Elmer) ou o DSC com fluxo de calor (desenvolvido por outras empresas).

Figura 3.5. Curva DSC de uma amostra de In^0 obtida com β de $10^\circ\text{C min}^{-1}$ e $-10^\circ\text{C min}^{-1}$, sob atmosfera dinâmica de N_2 (50mLmin^{-1}) e $m = 9,39\text{ mg}$

No DSC com compensação de potência a amostra e a referência são aquecidas ou resfriadas em compartimentos separados, individualmente. Isto torna possível manter a amostra e a referência em condições isotérmicas, ao contrário da técnica de análise térmica diferencial (DTA). Deste modo, se a amostra sofre alteração de temperatura devido a um evento endotérmico ou exotérmico em função do aquecimento ou resfriamento o qual foi submetida, ocorre uma variação de potência de entrada do forno correspondente, de maneira a anular essa diferença. Isto consiste no “balanço nulo” de temperatura.

O DSC com fluxo de calor, apresenta um desempenho equivalente ao DSC com compensação de potência. A principal diferença em relação ao DTA consiste na obtenção de medidas quantitativas, uma vez que o DSC com fluxo de calor possui uma capacidade calorífica bem definida, sendo adequada para este tipo de medida. Neste sistema DSC, a amostra e a referência são colocadas em cadinhos de dimensões idênticas, localizados sobre um disco termoelétrico de *constantan* e aquecidos por uma única fonte de calor. O calor é transferido por meio do disco para a amostra e referência, e o fluxo de calor diferencial (ΔT) entre os dois é controlado através de termopares conectados abaixo dos cadinhos. Desta maneira, a diferença no fluxo de calor da amostra e da referência é diretamente proporcional à diferença de potência entre as junções dos dois termopares (HAINES, 1995).

No DSC com compensação de potência adotou-se a convenção termodinâmica, onde um evento endotérmico ($\Delta H > 0$) é caracterizado por um pico ascendente na curva, enquanto que no DSC com fluxo de calor esse mesmo evento é representado na curva por um pico descendente (MACKENZIE, 1985). Além disso, no DSC com fluxo de calor o sinal é originado da diferença da temperatura entre a amostra e a referência; enquanto que o DSC por compensação de potências o sinal é proveniente do calor diferencial fornecido pela amostra e a referência (MAPPES, 1983).

Por meio desta técnica, pode-se acompanhar e quantificar as alterações físicas ou químicas da amostra, tais como mudança de estado físico (fusão, ebulição, etc.), transições de fase (modificações na estrutura cristalina) ou reações de desidratação, de decomposição, de oxidação, etc (MACKENZIE, 1985).

3.1.3. Métodos Cinéticos

A cinética química foi originalmente baseada em estudos empíricos de reações homogêneas em fase gasosa (teoria das colisões) e posteriormente aplicada a soluções (teoria do estado de transição) em seguida aplicada a reações em fase sólida, baseado em similaridades da fase sólida com soluções, devido à igualdade na homogeneidade.

O estudo cinético de reações homogênea objetiva a determinação de parâmetros cinéticos a serem utilizados, por exemplo, no conhecimento da estabilidade e tempo de decomposição de substâncias químicas. Um dos parâmetros de maior importância é a energia de ativação (E_a), pois como estabelecido em 1889 por Arrhenius, somente moléculas com maior energia que a energia de ativação seriam capazes de reagir quimicamente, a energia de ativação é definida como a energia necessária para que uma reação química se inicie, através do choque efetivo entre reagentes e princípio de quebra e formação de novas moléculas. Outro parâmetro cinético é o fator de frequência (A) que representa a frequência de colisões efetiva entre as moléculas.

A cinética de reação desenvolvida por estímulo térmico é normalmente estudada sob condições de aquecimento isotérmico e/ou não isotérmico (dinâmico). A equação de Arrhenius utilizada em estudos cinéticos, por exemplo, foi desenvolvida empiricamente e depois fundamentada com a teoria da colisão (fase gasosa) e a teoria do estado de transição (soluções), sendo esta última utilizada para explicar a aplicação desta equação em reação no

estado sólido (GALWEY e BROWN, 2002), o que evidencia que o estudo cinético no estado sólido tem como base princípios cinéticos homogêneos, necessitando do controle de certas variáveis pertinentes a sistemas originalmente heterogêneos, como o tamanho e forma das partículas.

Os métodos termoanalíticos são ferramentas preciosas para a determinação de parâmetros cinéticos, como energia de ativação (E_a), fator de frequência (A) e ordem de reação (n) no estado sólido, pois possibilitam a medida da variação de uma propriedade da amostra quando aquecida (estudo cinético dinâmico) ou mantida a uma temperatura constante (estudo cinético isotérmico). A reação que envolve perda ou ganho de massa (Δm) em função do aquecimento, admite que seu estudo cinético seja realizado por TG.

A cinética de reações no estado sólido também pode ser desenvolvida por meio das medidas do calor gerado ou consumido, utilizando-se a técnica termoanalítica de calorimetria exploratória diferencial (DSC).

Os estudos cinéticos no estado sólido podem ser agrupados em duas classes: experimental e computacional.

Os estudos cinéticos da classe experimental, por sua vez, subdividem-se em isotérmicos e não isotérmicos (ou dinâmicos). Os estudos cinéticos isotérmicos geram resultados dependentes do tempo (t), utilizam a equação de Arrhenius para determinação da energia de ativação (E_a). A amostra é submetida a diferentes temperaturas mantidas constantes, até perda de uma determinada porcentagem de massa.

Os estudos cinéticos não isotérmicos (ou dinâmicos) geram resultados dependentes da temperatura (T), utilizam o método descrito por Ozawa, onde é feita a aproximação linear baseada em cálculos integrais a partir da equação de Arrhenius, possibilitando o cálculo dos parâmetros cinéticos. A amostra é aquecida sob diferentes e constantes razões de aquecimento (β). (MATOS, MERCURI, ARAUJO,; 2009)

Nos estudos cinéticos da classe computacional os dados são gerados por *software* específico, acoplado ao sistema de medidas.

3.1.3.1. Método Isotérmico

O método isotérmico possibilita o acompanhamento da cinética de uma reação de decomposição no estado sólido, a partir de gráficos da fração decomposta (α) pelo tempo (t), onde se mantém a temperatura constante na área de interesse. A diferença entre este método e o não-isotérmico reside no fato do método isotérmico possibilitar a medida da fração decomposta (α) em função do tempo (t). Outra observação deve ser feita em relação aos dois métodos: no estudo cinético não-isotérmico a razão de aquecimento (β) é a variável na obtenção de cada curva termogravimétrica; já no método isotérmico a razão de aquecimento até se atingir a temperatura de isotérma é sempre a mesma, o que muda de curva para curva é a temperatura na qual essa isoterma é mantida até a decomposição de determinada porcentagem de massa previamente estabelecida (3, 5 ou 10%).

Uma desvantagem do método isotérmico em relação ao não-isotérmico é o tempo relativamente longo para o término de cada isoterma. O cálculo da energia de ativação é baseado na equação de Arrhenius (equação 3.4):

$$k(T) = A \cdot e^{-E_a/RT} \quad (\text{Eq. 3.4})$$

Onde:

- $k(T)$ = constante de velocidade em determinada temperatura;
- A = fator de frequência;
- E_a = energia de ativação;
- R = constante geral dos gases ($8,314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$);
- T = temperatura absoluta.

3.1.3.2. Método Não-Isotérmico ou Dinâmico

Wendlandt (1986) classifica os métodos não-isotérmicos como métodos diferenciais, integrais e aproximativos. Ozawa (1965) propõe um método baseado em cálculos integrais a partir da equação de Arrhenius para esse tipo de estudo, onde há um peso ponderal do material reagente (W) expresso em função da quantidade estrutural (grupo constituinte ou quebra de

ligação) representada por x (3.5), que varia de acordo com a equação (3.6), que ao ser integrada resulta na equação (3.7), onde o valor de x_0 é o próprio x em $t = t_0$:

$$W = f(x) \quad (\text{Eq. 3.5})$$

$$-\frac{dx}{dt} = Ae^{\left(\frac{-E_a}{RT}\right)} g(x) \quad (\text{Eq. 3.6})$$

$$-\int_{x_0}^x \frac{dx}{g(x)} = A \int_{t_0}^t e^{\left(\frac{-E_a}{RT}\right)} dt \quad (\text{Eq. 3.7})$$

Ao elevar a temperatura da amostra à razão aquecimento constante (β), tem-se a mudança de x dada pela equação 3.8, onde T_0 é o valor da temperatura em $T = T_0$. Fazendo-se outra aproximação (equação 3.9) também válida para tal processo tem-se:

$$-\int_{x_0}^x \frac{dx}{g(x)} = \frac{A}{\beta} \int_{T_0}^T e^{\left(\frac{-E_a}{RT}\right)} dT \quad (\text{Eq. 3.8})$$

$$-\int_{T_0}^T e^{\left(\frac{-E_a}{RT}\right)} dT = \int_0^T e^{\left(\frac{-E_a}{RT}\right)} dT = px \quad (\text{Eq. 3.9})$$

O primeiro lado da igualdade na equação 3.9 é tabelado por Doyle como função de p , de acordo com a equação 3.10, considerando E_a/R maior que 20, o termo $p(-E_a/RT)$ pode ser aproximado (equação 3.11):

$$\frac{E_a}{R} p\left(\frac{E_a}{RT}\right) = \int_0^T e^{\left(\frac{-E_a}{RT}\right)} dT = \frac{E_a}{R} px \quad (\text{Eq. 3.10})$$

$$\log p\left(\frac{E_a}{RT}\right) = -2,315 - 0,4567 \frac{E_a}{RT} \quad (\text{Eq. 3.11})$$

Considerando a diminuição da massa até uma dada fração, sob temperatura constante, T_1 , para razão de aquecimento β_1 e T_2 para β_2 etc., obtém-se a equação 3.12, que possibilita o cálculo das relações lineares por derivada da equação 3.9:

$$\frac{AE_a}{\beta_1 R} p\left(\frac{E_a}{RT_1}\right) = \frac{AE_a}{\beta_2 R} p\left(\frac{E_a}{RT_2}\right) = \dots \quad (\text{Eq. 3.12})$$

$$\log \beta_1 - 0,4567 \frac{E_a}{RT_1} = -\log \beta_2 - 0,4567 \frac{E_a}{RT_2} = \dots \quad (\text{Eq. 3.13})$$

Plotando-se o $\log \beta$ versus $1/T$ para dado valor de W obtém-se a reta onde o coeficiente angular fornecerá o valor da energia de ativação (E_a).

O estudo da cinética de decomposição de um material possibilita seu melhor conhecimento, pois é possível saber quais modificações ocorreram a temperaturas elevadas, além de sua composição, sua reatividade, materiais liberados durante sua decomposição, etc.

4. MATERIAL E MÉTODO

4.1. Material

As amostras foram obtidas no comércio local (esponja sintética e palha de aço), sendo que na esponja sintética foi separada a parte verde da amarela e guardadas em frascos fechados até o momento dos ensaios, que foram realizados separadamente. Tanto a parte verde, como a parte amarela e a palha de aço foi fracionada em pequenos pedaços para os ensaios.

A **esponja sintética**, material multiuso para limpeza doméstica empregada nesse estudo, contém uma parte verde e outra amarela, com indicação no rótulo da seguinte composição: espuma de poliuretano, bactericida e fibra sintética com material abrasivo.

A **palha de aço**, de procedência BOMBRIL, produzida a partir do arame de aço identificado com a seguinte especificação como ARAME BELGO BEKAERT que apresenta a composição química listada na Tabela 4.1. Esse material formado a partir de arame de aço com baixo teor de carbono, produzido pelo processo de trefilação, por meio do qual o arame é descamado por um sistema de lâminas de corte, formando fios finos, que em seguida são enrolados para conformar a peça da esponja. A espessura dos fios varia de acordo com o grau de ajuste das lâminas de corte do aço.

Tabela 4.1. Composição química do arame de aço

Elemento	Mínimo (%)	Máximo (%)
Carbono (C)	0,070	0,200
Silício (Si)	0,050	0,300
Manganês (Mn)	0,700	1,300
Enxofre (S)	0,004	0,080
Fósforo (P)	0,020	0,100
Ferro (Fe)	98,000	-

4.2. MÉTODOS

As amostras foram caracterizadas separadamente, utilizando as técnicas de microscopia eletrônica de varredura/espectroscopia de energia dispersiva (MEV/EDS), análise elementar (AE), espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR), calorimetria exploratória diferencial (DSC) e termogravimetria/termogravimetria derivada (TG/DTG).

4.2.1. Estudo Termoanalítico

Os ensaios de TG/DTG, DTA e DSC foram realizados no Laboratório de Análise Térmica Prof. Dr. Ivo Giolito (LATIG) do Instituto de Química da USP.

Após avaliação do comportamento térmico das amostras foi possível obter os parâmetros cinéticos empregando dois métodos termogravimétricos distintos: não isotérmico e isotérmico.

4.2.1.1. Termogravimetria(TG)/Termogravimetria Derivada (DTG)

Os ensaios de termogravimetria foram executados empregando-se a termobalança, modelo TGA-51 da marca SHIMADZU. A Figura 4.2 apresenta uma ilustração dessa termobalança.

Figura 4.1. Ilustração da Termobalança TGA-51

As curvas TG/DTG permitiram avaliar o comportamento térmico e etapa de decomposição térmica das amostras (esponja sintética e palha de aço), foram obtidas utilizando massa de amostra entre 15 e 22 mg, em cadinho de Pt, atmosfera dinâmica de ar comprimido e/ou N_2 (50 mLmin^{-1}), razão de aquecimento (β) de $5 \text{ }^\circ\text{C.min}^{-1}$ na faixa de temperatura de 25 a $800 \text{ }^\circ\text{C}$. Antes de iniciar os ensaios termogravimétricos foi obtida uma curva em branco para subtração de linha base. As condições da instrumentação foram verificadas empregando uma padrão de $\text{CaC}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, que apresenta três perdas de massa bem definidas. O tratamento de dados realizado empregando o *Software analysis* que acompanha o programa TA-60 WS (Shimadzu).

4.2.1.2. Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC)

As medidas de DSC foram executadas a partir da célula DSC modelo DSC-50 da marca *Shimadzu* (Figura 4.3), utilizando cápsula de Al aberta, atmosfera dinâmica de N_2 ($50 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$), razão de aquecimento de $10 \text{ }^\circ\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$, massa de amostra em torno de 2 mg e faixa de temperatura de 25 a $600 \text{ }^\circ\text{C}$. O equipamento foi calibrado antes dos ensaios utilizando índio e zinco metálicos de purezas 99,99 %, com pontos de fusão ($\text{In} = 156,6 \text{ }^\circ\text{C}$ e $\text{Zn} = 419,4 \text{ }^\circ\text{C}$) e entalpia de fusão (In) de $28,56 \text{ Jg}^{-1}$. O tratamento de dados foi feito empregando o *Software analysis* que acompanha o programa TA-60 WS (*Shimadzu*).

Figura 4.2. Ilustração da célula DSC-50.

4.2.1.3. Termogravimetria (TG)/Termogravimetria Derivada(DTG)/Análise Térmica Diferencial (DTA)

Para a amostra da parte verde da esponja sintética foi executado um ensaio empregando o sistema simultâneo TG/DTG/DTA codificado pela empresa Shimadzu como sistema DTG. Então foram obtidas as curvas TG/DTG/DTA na faixa de temperatura de 25 a $750 \text{ }^\circ\text{C}$ empregando razão de aquecimento de $10 \text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$, atmosfera dinâmica de ar ($50 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$) e cadinho de Pt contendo cerca de 20 mg de amostra. Antes do ensaio, foram obtidas as curvas DTA dos padrões índio e zinco metálicos de purezas 99,99%, com pontos de fusão ($\text{In} = 156,6^\circ\text{C}$ e $\text{Zn} = 419,4^\circ\text{C}$) para calibração do eixo de temperatura. Foi obtida uma curva em branco para subtração de linha base, tanto para a curva TG como para a DTA. O tratamento de dados foi realizado empregando o *Software analysis* que acompanha o programa TA-60 WS (*Shimadzu*).

Figura 4.3. Ilustração do equipamento DTG-50.

4.2.1.4. Estudo Cinético - Método Isotérmico

Para o estudo cinético pelo método isotérmico foi necessária a obtenção de curvas termogravimétricas isotérmicas. Essas curvas TG foram obtidas utilizando cadinho de Pt contendo massa de amostra entre 15 e 22 mg, sob atmosfera dinâmica de ar e N₂ (50 mL/min), razão de aquecimento (β) de 20 °C/min até 10°C abaixo da temperatura de isoterma (T_{iso}), seguido da mudança de β para 2 °C/min até T_{iso} , que foi mantida pelo tempo necessário para que a perda de massa fosse de pelo menos 10 % para a parte amarela da esponja sintética, 3 % para a parte verde da esponja sintética e ganho de massa para a palha de aço. A Figura 4.1 ilustra uma curva de aquecimento (T) genérica e a respectiva curva TG em função do tempo, que representa o método empregado para obtenção das curvas TG isotérmicas, nesse exemplo considerou-se 10 % de perda de massa para encontrar o tempo de isoterma.

Para a amostra da parte amarela da esponja sintética, empregando atmosfera dinâmica de: a) ar, a temperatura inicial extrapolada (T_{onset}) encontrada foi de 260 °C, o que permitiu escolher os seguintes valores de T_{iso} : 250, 245, 240, 235 e 230 °C; b) N₂ a T_{onset} encontrada foi de 265 °C, o que permitiu escolher os seguintes valores de T_{iso} : 260, 255, 250, 245 e 240 °C. Em ambos os casos as T_{iso} foram mantidas por tempo suficiente para perda de massa de 10 %.

Para a amostra da parte verde da esponja sintética, empregando atmosfera dinâmica de ar, a T_{onset} encontrada foi de 280 °C, o que permitiu escolher os seguintes valores de T_{iso} : 275, 270, 260 e 250 °C, mantidas por tempo suficiente para perda de massa de 3 %. Para essa amostra não foi possível obter bons resultados quando se trabalhou empregando atmosfera dinâmica de N₂.

Para a amostra de palha de aço não foi realizado o estudo isotérmico, visto que nas temperaturas selecionadas para isoterma o ganho de massa ocorria muito lentamente e exigia um tempo muito longo para pequenas variações de massa. Esse fato inviabilizou a obtenção dos resultados.

Conhecendo-se o intervalo de tempo necessário para uma mesma perda de massa em cada isoterma, pode-se construir o gráfico de Arrhenius ($\ln t$ vs $1/T_{iso}$) e calcular a energia de ativação ($\ln t = K + E_a/RT$) a partir da inclinação da reta obtida. Também, por extrapolação, pode-se estimar o tempo necessário para que haja a mesma perda de massa em qualquer temperatura, como por exemplo, a 25 °C (considerada como temperatura ambiente).

Figura 4.4. Ilustração das curvas TG/T genéricas representando o método para obtenção das isotermas.

4.2.1.4.1. Método Não Isotérmico ou Dinâmico (Método de Ozawa)

Para o estudo cinético pelo método não isotérmico ou dinâmico foi necessária a obtenção de curvas termogravimétricas sob diferentes razões de aquecimento, pelo menos quatro curvas.

As curvas TG foram obtidas utilizando cadinho de Pt, massa de amostra variando entre 16 e 22 mg, atmosfera dinâmica de ar/N₂, nas seguintes razões de aquecimento (β) : 2,5; 5; 7,5; 10; 15 e 20°C/min.

O método de Ozawa relaciona a temperatura em uma dada fração decomposta, T_α , com a razão de aquecimento empregada, β (dT/dt), de acordo com a equação:

$$\log \beta = K - 0,4567(E_a/RT_\alpha).$$

Diferentemente das amostras de esponja sintética as curvas TG da amostra de palha de aço apresentou ganho de massa, ao invés de perda de massa, visto que para essa amostra ocorre um processo oxidativo para a formação de Fe₂O₃. Observou-se um ganho de massa total de aproximadamente 40%. Para a palha de aço o estudo foi realizado apenas sob atmosfera dinâmica de ar, visto que sob atmosfera dinâmica de N₂ não ocorre o processo oxidativo, ou seja, sob atmosfera inerte esse material permanece inalterado.

4.2.2. MEV/EDS

Os ensaios foram realizados na Central Analítica do IQ-USP empregando do microscópio eletrônico de varredura acoplado ao detector EDS da marca Jeol modelo JSM 7404F (Figura 4.5), suportadas em fita dupla face de carbono.

Figura 4.5. Ilustração do microscópio eletrônico de varredura JSM 7404F

4.2.3. Análise Elementar

Os ensaios foram realizados na Central Analítica do IQ-USP empregando o analisador elementar (CHNS) modelo 2400 da marca Perkin-Elmer 2400. As determinações das porcentagens de carbono, hidrogênio e nitrogênio foram realizadas empregando cerca de 1 mg de amostra.

4.2.4. Espectroscopia na Região do Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR)

Os espectros no infravermelho foram registrados na Central Analítica do IQ-USP a partir do equipamento de marca Bomem modelo MB102, na região de 4.000 a 400 cm^{-1} , onde as amostras foram preparadas em pastilhas de KBr.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Aspectos Gerais

Esse estudo foi desenvolvido visando à comparação entre as características de degradação de dois materiais empregados para a limpeza doméstica. A palha de aço, constituída na sua maior parte por ferro e a esponja sintética dupla face contendo material polimérico, fibra sintética e carga inorgânica como abrasivo. O fluxograma da Figura 5.1 apresenta de forma resumida como o trabalho foi realizado.

Figura 5.1 Esquema ilustrativo das etapas envolvidas na caracterização das amostras.

5.2. Análise Elementar

Os resultados de análise elementar (Tabela 5.1) das amostras da esponja sintética evidenciam valores de percentuais de C, H e N que se aproximam daqueles calculados para uma molécula de poliuretano ilustrada na Figura 2.2. No caso da amostra da parte verde os valores correspondem a praticamente a metade, indicando que a parte verde da esponja sintética apresenta um percentual em massa de cerca de 50% de material polimérico e 50% de carga inorgânica que funciona como material abrasivo.

Tabela 5.1 Resultados de análise elementar das amostras de esponja sintética (parte amarela e parte verde).

Amostra	%C	%H	%N
Parte amarela	61,3	8,2	5,6
Parte verde	30,1	3,4	3,1
Poliuretano (valores calculados)	64,4	9,0	5,1

5.3. Espectroscopia de Absorção na Região do Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR)

Os espectros no infravermelho da parte amarela e parte verde da esponja sintética estão ilustrados na Figura 5.2. Em ambos os espectros no infravermelho das amostras da parte amarela e parte verde da esponja sintética dupla face pode ser observada a banda característica de NH em 3481 cm^{-1} . A banda de absorção em 1725 cm^{-1} pode ser atribuída a grupos carbonilo uretânicos e em a banda em 1648 cm^{-1} grupo aromático.

A banda de absorção observada em 1198 cm^{-1} é devido a presença de grupos C-O. As bandas de absorção observadas no espectro da amostra da parte verde entre 1500 e 500 cm^{-1} são de menor intensidade e menor resolução devido a presença da matriz inorgânica.

Figura 5.2. Espectros de absorção na região do infravermelho das amostras da parte verde e da parte amarela da esponja sintética.

5.4. Caracterização Termoanalítica das Amostras

5.4.1. Parte Amarela da Amostra da Esponja Sintética

A sobreposição das curvas TG/DTG obtidas sob atmosfera dinâmica de ar e de N_2 da amostra da parte amarela da esponja sintética está ilustrada na Figura 5.3. Pode ser observado que o material é estável termicamente até cerca de 250 °C tanto em atmosfera de ar como em N_2 . Se utilizando da curva DTG, pode ser notado que a decomposição térmica do material, sob atmosfera de ar, ocorreu rapidamente em duas etapas entre 255 e 423 °C, com Δm de cerca de 91 % (pode ser notado um ombro na curva DTG em 340 °C e pico principal em 379 °C). O produto de decomposição gerado corresponde a material carbonáceo que é completamente decomposto até 700 °C. Por outro lado, sob atmosfera de N_2 a perda de massa se inicia praticamente na mesma temperatura, ou seja, o ponto onde dm/dT deixou de ser zero ocorreu em 235 °C para a curva obtida a 20 °Cmin⁻¹. Porém por se tratar de uma atmosfera inerte, não oxidativa, o processo decomposição térmica é deslocado para temperaturas maiores e claramente se separa em duas etapas bem definidas, a primeira ocorreu entre 255 e 385 °C ($\Delta m = 32,4$ % e $T_{pico\ DTG} = 341$ °C) e a segunda entre 385 e 490 °C ($m = 65,4\%$ e $T_{pico\ DTG} = 422$ °C). Acima de 500 °C o resíduo de cerca de 2% (material carbonáceo) permanece

inalterado nessa atmosfera. A Tabela 5.2 lista os resultados extraídos das curvas TG/DTG da amostra da parte amarela da esponja sintética.

A Figura 5.4 ilustra a sobreposição das curvas TG/DTG e DSC da amostra da parte amarela da esponja sintética. Pode ser observado a partir da curva DSC três eventos térmicos. O primeiro é endotérmico ($T_{\text{pico}} = 307\text{ }^{\circ}\text{C}$) e a variação de linha base se iniciou próximo a $150\text{ }^{\circ}\text{C}$, temperatura que inferior aquela que indicou o início da perda de massa nas curvas TG/DTG. Esse evento é devido à fusão e início da decomposição térmica do material. O aquecimento lento e cuidadoso do material permite observar visualmente que o ocorre efervescência. Os dois eventos seguintes são exotérmicos ($T_{\text{pico}} = 384\text{ e }436\text{ }^{\circ}\text{C}$) em corresponde à decomposição térmica do poliuretano.

Figura 5.3. Sobreposição das curvas TG/DTG obtidas a $20\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ e sob atmosfera dinâmica de ar e N_2 ($50\text{ mL}/\text{min}$) da parte amarela da esponja sintética.

Tabela 5.2. Resultados termogravimétricos de cada etapa da decomposição térmica da parte amarela da amostra da esponja sintética sob atmosfera de ar e N_2

Etapa	Dado	Atmosfera	
		Ar	N_2
1ª	$\Delta T_1 / ^{\circ}\text{C}$	255-423	284-385
	$\Delta m_1 / \%$	90,8	32,4
2ª	$\Delta T_2 / ^{\circ}\text{C}$	423-703	385-489
	$\Delta m_2 / \%$	9,2	65,4
% Resíduo		0 (acima de $700\text{ }^{\circ}\text{C}$)	2,2 (acima de $550\text{ }^{\circ}\text{C}$)

Figura 5.4. Sobreposição das curva TG/DTG e DSC obtidas a 10 °C sob atmosfera dinâmica de N₂ da amostra da parte amarela da esponja sintética.

5.4.2. Parte Verde da Amostra da Esponja Sintética

A sobreposição das curvas TG/DTG obtidas sob atmosfera dinâmica de ar e de N₂ da amostra da parte verde da esponja sintética está ilustrada na Figura 5.5. Pode ser observado que o material apresenta perda de massa desde a temperatura ambiente quando aquecido sob atmosfera de ar ou de N₂. Sob atmosfera de ar observou-se entre 25 – 200 °C uma pequena perda de massa de cerca de 1,72 %, que pode ser atribuída à eliminação de água. Entre 200 e 342 °C ocorreu a segunda perda de massa de cerca de 2,3 %, provavelmente, devido a decomposição térmica de algum composto orgânico de baixo peso molecular ou eliminação de água devido a decomposição de algum hidróxido metálico presente no material inorgânico. Entre 342 e 553 °C ocorre perda de massa de 32,5 %, que pode ser atribuída à decomposição térmica parcial da matriz polimérica presente no material. Entre 553 e 690 °C a perda de massa foi de 16,29 %, que pode ser atribuída ao término da decomposição do matriz polimérica e à queima do material carbonáceo formado na etapa anterior. A última etapa de perda de massa de cerca de 1,6 % que ocorreu entre 690 e 780 °C é devido à decomposição térmica do CaCO₃, presente na matriz inorgânica ou que foi formado durante a decomposição térmica da matriz polimérica e/ou inorgânica. Presença do CaCO₃ foi confirmada a partir de

testes qualitativos com o resíduo coletado após aquecimento da amostra até 600 °C. A adição de ácido sobre esse resíduo liberou CO₂ que ao ser borbulhado em solução saturada de Ba(OH)₂ provocou a formação do precipitado branco de BaCO₃. A Figura 5.6 ilustra a imagem do resultado desse teste qualitativo. Acima de 800 °C a percentagem de resíduo inorgânico foi de 45,1 %.

As curvas TG/DTG obtidas sob atmosfera de dinâmica de N₂ evidenciaram o mesmo comportamento observado para as curvas obtidas sob atmosfera de ar até a temperatura de aproximadamente 300 °C. Porém, acima de 300 °C o processo de decomposição térmica da amostra sob atmosfera de N₂ foi deslocado para temperaturas maiores e o teor de resíduo é cerca de 7 % maior, esse comportamento é similar ao observado para a amostra da parte amarela. A ausência de O₂ impede a completa decomposição da matriz polimérica e conduz a formação de material carbonáceo que é termicamente estável sob atmosfera inerte. Entre 720 e 800 °C ($T_{\text{pico DTG}} = 775$ °C) foi possível observar uma pequena perda de massa, cerca de 3 %, devido a decomposição térmica do CaCO₃ presente, como mencionado anteriormente na discussão das curvas TG/DTG obtidas sob atmosfera de ar. Acima de 800 °C a percentagem de resíduo inorgânico foi cerca de 52 %. A Tabela 5.3 lista os resultados extraídos das curvas TG/DTG da amostra da parte verde da esponja sintética.

Figura 5.5. Sobreposição das curvas TG/DTG obtidas a 20 °C/min e sob atmosfera dinâmica de ar e N₂ (50mL/min) da parte verde da esponja sintética.

Tabela 5.3. Resultados termogravimétricos de cada etapa da decomposição térmica da parte verde da amostra da esponja sintética sob atmosfera de ar e N₂

Etapa	Dado	Atmosfera	
		Ar	N ₂
1 ^a	$\Delta T_1 / ^\circ\text{C}$	25 – 200	25 – 181
	$\Delta m_1 / \%$	1,72	1,03
2 ^a	$\Delta T_2 / ^\circ\text{C}$	200 – 342	181 – 302
	$\Delta m_2 / \%$	2,33	1,68
3 ^a	$\Delta T_3 / ^\circ\text{C}$	342 – 450	302 – 441
	$\Delta m_3 / \%$	5,25	3,82
4 ^a	$\Delta T_4 / ^\circ\text{C}$	450 – 553	441 – 570
	$\Delta m_4 / \%$	27,25	22,18
5 ^a	$\Delta T_5 / ^\circ\text{C}$	553 – 690	570 – 743
	$\Delta m_5 / \%$	16,29	15,87
6 ^a	$\Delta T_6 / ^\circ\text{C}$	690 – 780	743 – 800
	$\Delta m_6 / \%$	1,55	2,62
% Resíduo		45,1 (acima de 800 °C)	52,4 (acima de 800 °C)

(1) Tubo de ensaio com apenas Ba(OH)₂;

(2) Tubo de ensaio com o resíduo após adição do ácido.

(3) Tubo de ensaio da amostra de Ba(OH)₂ após absorção de CO₂.

Figura 5.6. Imagem do teste qualitativo que confirma presença de CaCO₃ no resíduo de decomposição térmica isolado a 600 °C da amostra da parte verde da esponja sintética.

A Figura 5.7 ilustra a sobreposição das curvas TG/DTG e DTA obtidas sob atmosfera de ar da amostra da parte verde da esponja sintética. Pode ser observado a partir da curva DTA quatro

eventos térmicos. Os dois primeiros de pequena intensidade são endotérmicos ($T_{\text{pico}} = 259$ e 395 °C) e os outros dois exotérmicos ($T_{\text{pico}} = 467$ e 526 °C). Semelhantemente ao que ocorreu para a amostra da parte amarela, o processo de decomposição térmica da matriz polimérica da amostra da parte verde apresentou-se como exotérmico.

Figura 5.7. Sobreposição das curvas TG/DTG e DTA obtidas a 10 °C/min e sob atmosfera dinâmica de ar (50 mL/min) da parte verde da esponja sintética.

5.4.3 Palha de Aço

A Figura 5.8 ilustra as curvas TG/DTG obtidas sob atmosfera de ar na razão de aquecimento de 5 °C da amostra de palha de aço. Pode ser observado que o material manteve-se estável termicamente até cerca de 300 °C. A partir dessa temperatura iniciou-se o ganho de massa devido à reação de oxidação do Fe^0 e Mn^0 presentes nos fios de aço para a formação de Fe_2O_3 e MnO_2 . Considerando uma amostra contendo 100 % de Fe^0 e rendimento de 100 % no processo oxidativo o percentual de ganho de massa corresponde a $42,8$ %. Conforme especificação do aço empregado para a manufatura da palha de aço (98 % de Fe^0 e $0,7$ % de Mn^0), apenas considerando esses dois componentes o ganho de massa esperado é de $41,1$ %. Até a temperatura de 1000 °C as curvas TG/DTG acusaram um ganho de massa de $40,9$ %, valor concordante com aquele esperado para a completa oxidação destes dois os metais

presentes na amostra. Certamente que no ambiente esse processo oxidativo é grandemente influenciado pela umidade.

Figura 5.8. Curvas TG/DTG obtidas a 5 °C/min e sob atmosfera dinâmica de ar (50 mL/min) da palha de aço.

5.5. Microscopia Eletrônica de Varredura/Espectroscopia de Energia Dispersiva (MEV/EDS)

O microscópio eletrônico de varredura pode fornecer informações quanto à morfologia e identificação qualitativa de elementos químicos presentes na amostra sólida. Tem a capacidade de visualização de imagens da amostra em aparência tridimensional e a observação em pequenos aumentos e com grande profundidade de foco, que é de grande utilidade, visto que a imagem eletrônica completa a informação da imagem óptica.

A análise por EDS é uma ferramenta muito importante, acoplada ao MEV fornece a caracterização de materiais metálicos e semicondutores, qualitativamente em pontos específicos da imagem. Mas é necessário se atentar quanto à região a ser analisada pois em superfícies rugosas (de baixo polimento) o erro pode ser bastante aumentado na quantificação do espectro obtido. (DEDAVID; GOMES; MACHADO; 2007).

A parte amarela da esponja sintética começa a se decompor quando submetida a temperaturas necessárias para obtenção da imagem a partir do MEV, como pode ser observado na Figura 5.9. Esse fato é esperado por ser tratar de material puramente orgânico e, devido a isso, não se torna útil para a análise por EDS, que esse tem por objetivo a detecção de outro tipo de material. Esse fato também inviabilizou a realização dos ensaios com a amostra da parte verde. Porém, foi possível realizar os ensaios para os produtos de decomposição térmica da parte verde isolados na temperatura de 800 °C tanto em ar como em N₂.

A Figura 5.10 e 5.11 ilustra as imagens de MEV e os resultados de EDS, do resíduo isolado a 800 °C da parte verde da esponja submetido ao aquecimento sob atmosfera de ar e N₂, respectivamente.

O resultado de MEV/EDS do resíduo obtido do aquecimento da amostra sob atmosfera de ar indica a presença das espécies Mg, Ti, Al, Ca, Na, Si, os quais devem estar na forma dos respectivos óxidos e/ou silicatos; também indicou a presença de Cl que deve estar na forma de cloreto. O caso do resíduo isolado sob atmosfera de N₂ foi identificado a presença de C devido a presença de material carbonáceo que se decompõe sob atmosfera inerte.

Figura 5.9. Imagem obtida por MEV da parte amarela da esponja sintética

Figura 5.10. Imagens de MEV/EDS de resíduos obtidos sob atmosfera dinâmica de ar de amostra da parte verde da esponja sintética.

Figura 5.11. Imagens de MEV/EDS de resíduos obtidos sob atmosfera dinâmica de N_2 de amostra da parte verde da esponja sintética.

5.6. Estudo da Cinética de Decomposição Térmica

5.6.1. Método Isotérmico

5.6.1.1. Isoterma Parte Amarela da Esponja Sintética

A Figura 5.12 ilustra as curvas TG isotérmicas obtidas sob atmosfera dinâmica de ar entre 230 e 250 °C da amostra da parte amarela da esponja dupla face e o gráfico de Arrhenius construído a partir dos resultados de T_{iso} e $\ln t$ considerando 10 % de perda de massa. Obviamente que quanto menor a T_{iso} maior o tempo necessário para atingir a perda de massa previamente estabelecida. Essas T_{iso} foram definidas a partir da T_{onset} (temperatura de decomposição inicial extrapolada) extraída das curvas TG/DTG ilustradas na Figura 5.4. As T_{iso} escolhidas possuem valores menores que a T_{onset} , para garantir que o aquecimento inicial até atingir a T_{iso} não provoque a degradação térmica da amostra ou pelo menos o mínimo

aceitável. Os dados extraídos das isotermas estão listados na Tabela 5.5, os quais permitiram construir o gráfico de Arrhenius (Figura ilustrada acima das isotermas na mesma Figura 5.12), o qual relaciona o logaritmo neperiano do tempo (min) com o inverso da respectiva temperatura, fornecendo uma equação de reta (5.1) que possibilita calcular o tempo de decomposição do material a qualquer temperatura e a Energia de Ativação (E_a) a partir da inclinação da reta.

$$\ln t = a/T - b \quad (\text{Eq. 5.1})$$

Onde: t = tempo (min);

T = temperatura ($^{\circ}\text{C}$)

a = Energia de ativação/constante dos gases (E_a/R)

Figura 5.12. Curvas TG isotérmicas obtidas sob atmosfera dinâmica de ar entre 230 e 250 $^{\circ}\text{C}$ da parte amarela da esponja e Gráfico de Arrhenius.

Os resultados permitiram estimar um valor da energia de ativação (E_a) de 175 kJ/mol para amostra da parte amarela da esponja sintética, o qual foi calculado a partir do produto de 21114 (inclinação da reta) com a constante geral dos gases ($R = 8,314 \text{ J/mol.K}$). A partir da regressão linear pode-se estimar que o tempo de decomposição do material na temperatura de 25 $^{\circ}\text{C}$ corresponde a $1,5 \times 10^9$ anos.

Tabela 5.5. Dados extraídos das curvas TG isotérmicas em atmosfera dinâmica de ar da amostra da parte amarela da esponja sintética.

T_{iso} (°C)	T_{iso} (K)	$t_{iso} = t_{total} - t_{para\ atingir\ isoterma}$ (min) considerando $\Delta m = 10\%$	$10^3/T$ (K ⁻¹)	Lnt
250	523,15	66,4 - 17,5 = 48,9	1,911	3,890
245	518,15	83,4 - 17,2 = 67,2	1,929	4,193
240	513,15	122,7 - 16,9 = 105,8	1,949	4,661
235	508,15	175,7 - 16,4 = 159,5	1,968	5,070
230	503,15	249,7 - 15,6 = 234,1	1,987	5,455

Na Figura 5.13, estão ilustradas as curvas TG isotérmicas obtidas sob atmosfera de N₂ da amostra da parte amarela. A Tabela 5.6 lista os dados extraídos dessas curvas e que permitira construir o gráfico de Arrhenius, o qual está inserido a acima das curvas TG isotérmicas na própria Figura 5.13.

Figura 5.13. Curvas TG isotérmicas obtidas sob atmosfera dinâmica de N₂ entre 235 e 255 °C da parte amarela da esponja e Gráfico de

Tabela 5.6. Dados extraídos das curvas TGs isotérmicas em atmosfera dinâmica de N₂ da amostra da parte amarela da esponja sintética.

T _{iso} (°C)	T _{iso} (K)	t _{iso} = t _{total} – t _{para atingir a isoterma} (min)	10 ³ /T (K ⁻¹)	Ln t
255	528,15	53,7 – 17,2 = 36,5	1,893	3,983
250	523,15	85,1 – 16,2 = 68,9	1,911	4,444
245	518,15	96,5 – 16,7 = 79,8	1,929	4,569
240	513,15	158,2 – 15,7 = 142,5	1,949	5,064
235	508,15	264,4 – 15,5 = 248,9	1,968	5,577

Pode-se observar que em atmosfera de N₂ as isotermas são obtidas em temperaturas mais elevadas do que em atmosfera de ar, de modo que o tempo para que ocorra o mesmo percentual de perda de massa também é maior numa mesma temperatura. Isso se deve à presença de O₂ na atmosfera de ar que acelera o processo de ‘queima’, ou seja, acentua a oxidação do material polimérico da matriz. Nesse caso a energia de ativação (E_a) calculada foi de 195 kJ/mol e o tempo estimado para decomposição térmica a 25°C corresponde 3,3x10¹⁰ anos, corroborando com o fato da maior dificuldade de decomposição térmica da amostra sob atmosfera inerte.

5.6.1.2. Isoterma Parte Verde da Esponja Sintética

A Figura 5.14 ilustra as curvas TG isotérmicas obtidas sob atmosfera dinâmica de ar entre 250 e 275 °C da amostra da parte verde da esponja sintética e o gráfico de Arrhenius. Nesse caso as temperaturas de isotermas são maiores em relação à parte amarela da esponja sintética e também, o tempo para que ocorresse a decomposição térmica foi maior. Por esse motivo as T_{iso} foram mantidas pelo tempo necessário para que a perda de massa fosse de apenas 3 %, caso contrário seria impraticável fazer qualquer estimativa de decomposição térmica para essa amostra.

A Tabela 5.7 lista os dados extraídos dessas curvas e que permitiu construir o gráfico de Arrhenius, o qual está inserido acima das curvas TG isotérmicas na mesma Figura.

A parte verde da esponja dupla face apresenta duas pequenas perdas de massa (total ~ 2,5 %) até cerca de 200 °C. Para o estudo cinético foi considerada a perda de massa principal que se inicia acima de 240 °C, ou seja, a decomposição térmica da amostra propriamente dita. Essa

amostra devido às fibras sintéticas de material inorgânico acusou um teor de resíduo de aproximadamente 50 %, mesmo quando submetida a temperaturas acima de 700 °C.

Para essa amostra da parte verde, considerando 3 % de perda de massa para a decomposição principal a energia de ativação calculada foi de 159 kJ/mol e o tempo estimado para decomposição térmica a 25 °C corresponde 8×10^8 anos. Certamente que o tempo necessário para atingir uma perda de massa de 10 % seria muito maior, ultrapassando o tempo necessário exigido para decompôr 10 % da amostra da parte amarela ($1,5 \times 10^9$ anos).

Para essa amostra da parte verde da esponja dupla face não foi possível a obtenção de isotermas em atmosfera dinâmica de N₂, pois quando submetidas a temperaturas de isotermas inferiores a T_{onset} sua decomposição térmica era excessivamente lenta, o tempo de coleta de dados era muito grande e não se conseguia a estabilização da temperatura, mesmo considerando perda de massa de 3 %. Esse fato inviabilizou o andamento desse estudo.

Tabela 5.7. Dados extraídos das curvas TG isotérmicas em atmosfera de ar da amostra da parte verde de esponja sintética

T_{iso} (°C)	T_{iso} (K)	$t_{\text{iso}} = t_{\text{total}} - t_{\text{para atingir a isoterma}}$ (min)	$10^3/T$ (K ⁻¹)	$\text{Ln } t$
275	548,15	$120,1 - 42,8 = 77,3$	1,824	4,788
270	543,15	$164,8 - 42,5 = 122,3$	1,841	5,105
265	538,15	$247,7 - 42,2 = 205,5$	1,858	5,512
250	523,15	$481,4 - 41,7 = 439,7$	1,911	5,064

Figura 5.14. Curvas TG isotérmicas obtidas sob atmosfera dinâmica de ar entre 250 e 275 °C da parte verde da esponja e Gráfico de Arrhenius.

Estudos desse tipo se tornam de relevante importância quando se pensa no meio ambiente. Como seria a decomposição desse material na natureza? Quais as consequências em longo prazo em decorrência do seu descarte? Como se material deve ser descartado? Esse material pode ser submetido ao processo de incineração?

Observando o comportamento térmico das amostras, tanto aquela da parte verde como da parte amarela tempo necessário para uma baixa percentagem de decomposição térmica é muito longo. Esse resultado evidencia que amostras com essas características não devem ser descartado na natureza sem critério. Por outro lado, a incineração desses materiais conduz liberação de CO_2 , que contribui para o efeito estufa e, também, gases tóxicos que poluem a atmosfera. No caso da amostra da parte verde, além de gases tóxicos gera aproximadamente 50 % de resíduo em relação a sua massa inicial a 700 °C. Em se tratando de resíduo inorgânico, esse pode ser reaproveitado como carga inorgânica, para obtenção da mesma fibra sintética ou produção de outro material.

Além do método cinético por TG isotérmica os materiais foram estudados a partir do método cinético por TG dinâmica, para que houvesse outra via de comparação e que também pudessem ser comparados com a amostra de palha de aço em que o estudo cinético por TG isotérmica não se foi viável.

5.7. Método Não Isotérmico ou Dinâmico

5.7.1. Parte Amarela da Esponja Sintética

A Figura 5.15 ilustra a sobreposição das curvas TG/DTG obtidas em atmosfera dinâmica de ar, em diferentes razões de aquecimento (β): 2,5; 5; 7,5; 10; 15; 20; 30 e 40 °C da amostra parte amarela da esponja dupla face. Observa-se que quanto maior a razão de aquecimento, maior é a temperatura de início de decomposição. Nota-se também que para razões de aquecimento maior que 15 °Cmin⁻¹ o processo de decomposição térmica ocorre nitidamente em duas etapas, como pode de observado a partir das respectivas curvas DTG.

A decomposição térmica ocorre na faixa de temperatura de 230 °C a 405 °C, considerando as diferentes razões de aquecimento a perda de massa é cerca de 100 % acima de 600 °C, por se tratar de um material constituído unicamente de compostos orgânicos.

Esse comportamento térmico evidenciado pelas curvas TG/DTG permite concluir que a decomposição da amostra só se inicia a temperaturas superiores a 230 °C. Levando-se em

conta a temperatura ambiente, ou seja, a decomposição do material em aterros, ou mesmo exposta ao ambiente, pode-se imaginar que esse processo é extremamente lento.

Figura 5.15. Sobreposição das curvas TG/DTG obtidas sob atmosfera dinâmica de ar da amostra da parte amarela da esponja sintética dupla face.

Figura 5.16. Gráficos de $\text{Log } \beta$ vs $1/T$ e $G(x)$ vs tempo reduzido construídos a partir das curvas TG/DTG obtidas sob atmosfera dinâmica de ar da parte amarela da esponja sintética.

Os resultados indicaram que a amostra da parte amarela da esponja sintética apresenta uma cinética de decomposição térmica de ordem zero, energia de ativação de 101 kJ/mol e fator frequência de $3,8 \times 10^7 \text{ min}^{-1}$.

Esse estudo cinético por TG dinâmica foi realizado sob atmosfera dinâmica, tanto ar como de N_2 , dessa forma pode-se comparar a influência da atmosfera na decomposição térmica do material, além da influência do aquecimento propriamente dito.

A Figura 5.17 ilustra a sobreposição das curvas TG/DTG obtidas em atmosfera dinâmica de N_2 em diferentes razões de aquecimento (β): 2,5; 5; 7,5; 10; 15 e 20 °C da amostra da parte amarela da esponja, Essas curvas evidenciam que as temperaturas de início de decomposição térmica estão deslocadas para valores mais altos em relação as curvas obtidas sob atmosfera dinâmica de ar.

Sob atmosfera dinâmica de N_2 os perfis das curvas são diferentes, pois existem duas etapas bem definidas. Certamente a segunda etapa é aquela que é influenciada pela presença de O_2 e é por esse motivo que ela ocorre sobreposta à primeira etapa sob atmosfera de ar para razões de aquecimento abaixo de 15 °C/min. Em atmosfera dinâmica de ar, essa etapa aparece somente em razões mais altas (discretamente na razão de 20°C/min e mais evidente nas razões de 30 e 40°C/min), dada a natureza dinâmica do processo o material permanece menos tempo em contato com o O_2 , ou seja, a concentração de O_2 é insuficiente para que ocorra apenas uma etapa, o que não ocorre para razões de aquecimento baixas. Porém, sob atmosfera dinâmica de N_2 o oxigênio utilizado na segunda etapa já está presente no material, visto que o poliuretano é formado também por poliálcoois, que possuem oxigênio na molécula, mas não em quantidade suficiente para promover a oxidação total até 600 °C.

Figura 5.17. Curvas TG e DTG obtidas sob atmosfera dinâmica de N_2 da amostra da parte amarela da esponja sintética

Nas Figuras 5.18 os gráficos de $\log\beta$ vs $1/T$ e $G(x)$ vs tempo reduzido da parte amarela da esponja sintética submetida a atmosfera dinâmica de N_2 , mostra uma decomposição térmica com cinética de ordem zero, energia de ativação de 123 kJ/mol e fator frequência de $1,8 \times 10^9 \text{ min}^{-1}$.

Figura 5.18. Gráficos de $\log\beta$ vs $1/T$ e $G(x)$ vs tempo reduzido construídos a partir das curvas TG/DTG obtidas sob atmosfera dinâmica de N_2 da parte amarela da esponja sintética.

5.7.2 Parte Verde da Esponja Sintética

A Figura 5.15 ilustra a sobreposição das curvas TG/DTG obtidas em atmosfera dinâmica de ar, em diferentes razões de aquecimento (β): 2,5; 5; 7,5; 10 e 15 $^{\circ}\text{C}$ da amostra parte verde da esponja dupla face. Semelhantemente ao comportamento térmico da amostra da parte amarela, também se observou que com o aumento da razão de aquecimento há o deslocamento dos eventos térmicos para temperaturas maiores. A curva DTG evidencia que o primeiro pico que aparece entre 450 e 500 $^{\circ}\text{C}$ aumenta em intensidade em relação ao segundo pico que aparece entre 500 e 550 $^{\circ}\text{C}$, isso ocorre porque a perda de massa da primeira etapa aumenta em relação a segunda. O percentual de resíduo acima de 700 $^{\circ}\text{C}$ varia entre 45 e 50 $^{\circ}\text{C}$, sendo maior para razões de aquecimento mais altas. Essa diferença está relacionada ao menor contato do material carbonáceo formado na etapa anterior com o O_2 da atmosfera. Os parâmetros cinéticos foram obtidos apenas para a primeira etapa de decomposição térmica. A Figura 5.20 ilustra os gráficos de $\log\beta$ vs $1/T$ e $G(x)$ vs tempo reduzido da amostra da parte verde da esponja sintética em atmosfera dinâmica de ar, os quais evidenciaram que cinética de

decomposição térmica é de ordem 2, o valor da energia de ativação é 175 kJ/mol e o fator frequência de $1,3 \times 10^{11} \text{ min}^{-1}$.

Figura 5.19. Sobreposição das curvas TG e DTG obtidas sob atmosfera de ar da amostra da parte verde da esponja sintética

Figura 5.20. Gráficos de $\log \beta$ vs $1/T$ e $G(x)$ vs tempo reduzido construídos a partir das curvas TG/DTG obtidas sob atmosfera dinâmica de N_2 da parte verde da esponja sintética

A Figura 5.21 ilustra as curvas TG/DTG obtidas sob atmosfera de N_2 , em diferentes razões de aquecimento (β): 2,5; 5; 7,5; 10; 15 e 20 $^{\circ}C$ da amostra parte verde da esponja dupla face. Também nesse caso se observou que com o aumento da razão de aquecimento há o deslocamento dos eventos térmicos para temperaturas maiores. Porém, não há inversão nas intensidades dos picos referentes à primeira e a segunda etapa de perda de massa como mostra a curva DTG, evidenciando que a atmosfera inerte não influencia nas etapas de decomposição térmica da amostra, como ocorreu quando a atmosfera é oxidativa. O foi praticamente o mesmo encontrado para os ensaios realizados sobre atmosfera de ar, variou entre 45 e 53 acima de 700 $^{\circ}C$, indicando que a presença de oxigênio na matriz polimérica foi suficiente para praticamente eliminar o material carbonáceo formado na degradação térmica do material. Para essa condição os resultados não permitiram calcular os parâmetros cinéticos, como pode ser observado nas curvas TG, houve sobreposição de curvas para razões de aquecimento distintas.

Figura 5.21. Sobreposição das curvas TG/DTG obtidas sob atmosfera dinâmica de N_2 amostra da amostra da parte verde da esponja sintética.

A Tabela 5.7 lista os valores das energias de ativação E_a , fator de frequência (A) e ordem de reação (n). A partir dos valores de E_a e A foi possível determinar a constante de velocidade

(K) para a temperatura de 25 °C, sendo então possível determinar o tempo necessário para 100% de decomposição, sob atmosfera de ar e N₂, para a amostra da parte amarela da esponja sintética e para 50 % de decomposição para a amostra da parte verde, os resultados estão listados na Tabela 5.7. Esses resultados evidenciarão que em ambas as amostras o tempo para decomposição total da matriz polimérica é muito longo. Portanto, esses materiais não podem ser descartados sem critério no meio ambiente, como já mencionado na discussão do estudo cinético por métodos isotérmicos.

Tabela 5.4. Parâmetros cinéticos obtidos a partir dos métodos termogravimétricos da parte amarela e verde da esponja sintética.

Material	Atm	E _a (kJ mol ⁻¹)	A (min ⁻¹)	n	t à 25°C (anos)
Parte Amarela	ar	101	3,8 . 10 ⁷	0	2,6 . 10 ⁴
Parte Amarela	N ₂	123	1,8 . 10 ⁹	0	4 . 10 ⁶
Parte Verde	ar	175	1,3 . 10 ¹¹	2	7 . 10 ¹³

5.8. Palha de Aço

A Figura 5.21 ilustra as curvas TG/DTG obtidas sob atmosfera de ar, em diferentes razões de aquecimento (β): 1; 2; 5 e 20 °C da amostra de palha de aço.

O ganho de massa observado é devido à oxidação do ferro, conforme a equação de reação:

Pode ser observado que aumentando a razão de aquecimento o ganho de massa referente ao processo oxidativo é deslocado para temperaturas mais altas, até cerca de 800 °C a oxidação é parcial. Porém para baixas razões de aquecimento a oxidação é praticamente de 100 % quando se atinge a temperatura de 1000 °C, como mencionado no item 5.4.3.

Os gráficos de Ozawa (inseridos acima das curvas TG) foram obtidos relacionando-se a razão de aquecimento (β) com o inverso da temperatura necessária para a oxidação do material nas frações entre 105 a 109 % em massa.

Os gráficos de Ozawa permitiram encontrar o valor da energia de ativação ($E_a = 173 \text{ kJ/mol}$) e o fator pre-exponencial ($A = 9 \times 10^7 \text{ min}^{-1}$). Esses valores de E_a e A permitiram determinar as constantes de velocidade (K) para as temperaturas de 25 e 40 °C, possibilitando determinar para essas temperaturas os tempos para 3% de conversão/oxidação ($t_{3\%}$) de $1,3 \times 10^{15}$ e $4,6 \times 10^{13}$ anos, respectivamente. Esses valores são relativamente altos, porém foram determinados levando-se em conta atmosfera dinâmica de ar comprimido com vazão de 50 mL/min, condição diferente do que ocorre no ambiente. No entanto, não se conseguiu, em virtude do tempo, reproduzir nesse tipo de ensaio uma aproximação da condição estritamente similar aquela do ambiente. Sabe-se que no ambiente a palha de aço oxida-se muito facilmente devido presença de umidade ou o seu contato direto com a água. Assim a presença de H_2O e O_2 é uma condição que favorece amplamente a transformação da lâ de aço em ferrugem num tempo relativamente curto.

Figura 5.22. Sobreposição das curvas TG/DTG obtidas sob atmosfera dinâmica de ar da amostra de palha de aço

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Visando compreender o comportamento da degradação e/ou decomposição térmica da esponja sintética dupla face, base poliuretana (parte amarela e parte verde) e da palha de aço, foram realizados estudos comparativos de análise térmica, a fim de se avaliar o comportamento dos materiais em ambiente controlado. Esperava-se, com esse estudo, apresentar dados que pudessem ser relacionados ao impacto ambiental causado pelo descarte desses materiais nos aterros sanitários e lixões.

A partir da análise dos dados laboratoriais, conclui-se que a decomposição/degradação da esponja sintética tem seu início somente acima de 200 °C. Sob atmosfera dinâmica de ar, o processo ocorre em uma ou duas etapas até cerca de 600 °C, devido à presença de O₂ e dependendo da razão de aquecimento empregada. Em ambientes pobres em O₂, por exemplo atmosfera inerte (N₂), o processo decomposição/degradação ocorre de forma mais lenta. A partir de métodos cinéticos por TG isotérmica e não isotérmica foi possível determinar os parâmetros cinéticos e estimar o tempo necessário para degradação/decomposição térmica das matrizes poliméricas que constitui a parte amarela e verde da esponja sintética dupla face empregada em limpeza doméstica. Os resultados indicaram um longo tempo para a ocorrência total da degradação do material, portanto, após o uso esses materiais não devem ser descartados aleatoriamente.

Por outro lado, a palha de aço, constituída de ferro e uma pequena quantidade de carbono, também foi estudada por métodos termoanalíticos. Os resultados apontaram para um longo tempo relacionado à oxidação do material na temperatura ambiente, considerando apenas atmosfera de ar. Porém, sob atmosfera de ar e na presença de umidade o processo oxidativo ocorre rapidamente gerando produtos sólidos que não causam impacto ambiental, ou seja, os resíduos não são nocivos ao meio ambiente ou ao ser humano.

Esse estudo limitou-se aos estudos de análise térmica e abre novas possibilidades, visando um acompanhamento das características das amostras sob condições mais próximas da realidade, como por exemplo, sob condições de aterro ou caracterizando os voláteis liberados no caso dos processos de incineração.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CANAUD, Cristine. **Dossiê Técnico: Tecnologia do Poliuretano**. Rio de Janeiro: REDETEC, 2007.
- CINTRA, Ilka S.; ARAÚJO, Eliane P. O. **História do lixo**. Programa de administração e gerenciamento de resíduos sólidos. Belo Horizonte: GERESOL, UFMG, 1999. Disponível em <https://www.ufmg.br/proex/geresol/lixohistoria.htm> Acesso em 04/01/2012
- DEDAVID, B.A.; GOMES, C.I.; MACHADO, M.; **Microscopia Eletrônica de Varredura, Aplicações e Preparação de Amostras**. Porto Alegre: Centro de Microscopia Eletrônica e Microanálise (CEMM), 2007.
- FERREIRA, Elizabeth de Magalhães Massena. **Uso de Espuma de Poliuretano na Extração de Índio de Meio Iodeto**. Rio de Janeiro: Pontifícia Universidade Católica – Puc. Tese de Doutorado, Catalogação em 13/04/2004, Orientadora: Isabel Maria N S Moreira. Disponível em: http://www.maxwell.lambda.ele.puc-rio.br/Busca_etds.php?strSecao=resultado&nrSeq=4774@1
- FRANCISCO JÚNIOR, W. E.; DOCHI, R. S. Um experimento simples envolvendo óxido-redução e diferença de pressão com materiais do dia-a-dia. In: **Química Nova na Escola**. São Paulo, Brasília: USP, UnB, n.23, mai. 2006. p. 49-51. Disponível em: <http://qnesc.sbq.org.br/>
- GIOLITO, I.; IONASHIRO, M. **A nomenclatura em análise térmica** – parte II. *Cerâmica*, v.34, n.225, p.163-164, 1988.
- GIOLITO, I.; IONASHIRO, M. **Nomenclatura, padrões e apresentação dos resultados em análise térmica**. *Cerâmica*, v.26, n.121, p.17-24, 1980.
- GRIPPI, Sidney. **Lixo-Reciclagem e sua historia**: Guia para prefeituras Brasileiras. São Paulo: Interferência, 2001. 132p. Disponível em:
- HAINES, P. J. **Thermal Methods of Analysis**: principles, applications and problems. 1. Ed. London: Chapman & Hall, 1995. p. 286.
- LEITE, D. O.; PRADO, R. J. Espectroscopia no infravermelho: uma apresentação para o Ensino Médio. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 34, n. 2, São Paulo, abr/jun, 2012. Online, disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1806-11172012000200015&script=sci_arttext. Acesso em: 30/03/2013.

MACKENZIE, R., **Nomenclature for Thermal Analysis IV** (Recommendation 1985), Pure Appl Chem. V. 57, p. 1738, 1985.

MATOS, J. R.; MACHADO, L.D.B.. Análise Térmica –Termogravimetria. In: Sebastião CANEVAROLO, Vicente. (Org.). **Técnicas de Caracterização de Polímeros**. 1 ed. São Paulo: Artiliber, 2004,v., p. 209-228. online/qnesc23/a12 .pdf

ORZEL, R. A.; WOMBLE, S. E.; AHMED, F.; BRASTED, H. S.; J. Am. Coll. Toxicology, 1989, 8, 1139.

PACHECO, E. B. **Análise de impacto ambiental devido a resíduos polimé**

ricos. Disponível em: <http://www.plastico.com.br/revista/pm308/poluicao3.htm> . Acesso em 10/02/2012

SILAEX. **Poliuretano**. Disponível em: <http://www.silaex.com.br/pu.htm>. Acesso em 19/04/2012

SILVA, L.; MELLO, S. P.; Lixo urbano, população e saúde. In.: **Nucleus, Revista Científica da Fundação Educacional de Ituverava**. Ituverava: Fundação Educacional de Ituverava, ano 8, n. 1, abr. 2011, p. 1-12.

SILVEIRA, C.B.; ESCOBAR, J.A.; QUINTERO, M.W.; SOUSA, E.; MORAES, E.G.;

OLIVEIRA, A.P.N.; RAMBO, C.R.; HOTZA, D. Decomposição térmica de espumas de poliuretano para fabricação de vitrocerâmica celular de Li₂O-ZrO₂-SiO₂-Al₂O₃ (LZSA). In.: **Química Nova**.vol.30. São Paulo: no.5, sept./oct. 2007.

TURI, E.A., ed. **Thermal characterization of polymeric materials**. 2.ed. San Diego, Academic Press: Academic Press, 1997. 2v.

VILAR, Walter. **Química e Tecnologia dos Poliuretanos**. 3. ed. Rio de Janeiro: Vilar Consultoria, 2004. Disponível em: <<http://www.poliuretanos.com.br/>>. Acesso em: 15 agosto 2012.

WENDLANDT, W.W. **Thermal Analysis**. 3. Ed. New York: Willey, 1986.

YOUSSEF, B.; MORTAIGNE,B.; SOULARD, M., SAITER, J. M.. **Fireproofing of Polyurethane By Organophosphonates**: Study of degradation by simultaneously TG/DSC. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, Vol. 90 (2007) 2, p. 489–494.

VYAZOVKIN, S.; *Thermal Analysis*. Analytical Chemistry, 80 (12) 4301-4316, 2008.

CAMMEGA, H. K., EPPLE, M.; Basic Principles of Thermoanalytical Techniques and Their Applications in Preparative Chemistry. *Angew. Chem, Int. Ed. Engl.*, New York, v.34, p. 1171-1187, 1995.

DUVAL, C. *Inorganic Thermogravimetric Analysis*. 2.ed. New York: Elsevier, 1963.

MATOS, J. R. ; MERCURI, L. P. ; ARAÚJO, G. L. B. . *Análise Térmica Aplicada a Fármacos e Medicamentos*. In: Sílvia Storpiris; José Eduardo Gonçalves; Chang Chiann; Maria Nella Gai. (Org.). *Ciências Farmacêuticas: Biofarmacotécnica*. 1ª ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan S.A., 2009, v. Único, p. 32-65.

Renata Aparecida Neres
Curriculum Vitae

Dados pessoais

Nome Renata Aparecida Neres
Nome em citações bibliográficas NERES, R. A.
Sexo Feminino

Cor ou Raça Branca

Filiação Nelito Neres dos Santos e Mercedes Marques dos Santos
Nascimento 18/04/1977 - Sertãozinho/SP - Brasil
Carteira de Identidade 275876585 SSP - SP - 27/04/1991
CPF 248.106.048-29

Endereço residencial Rua Araicás
Vila Lageado - São Paulo
05343010, SP - Brasil
Telefone: 011 37192847
Celular 011 971336676

Endereço profissional Universidade de São Paulo, Instituto de Química
Av. Prof. Lineu Prestes, 748
Butantã - São Paulo
05508900, SP - Brasil
Telefone: 11 30913837

URL da home page: www2.iq.usp.br/docente/jdrmatos/

Endereço eletrônico

E-mail para contato : neresrenata@hotmail.com
e-mail alternativo : reneres@usp.br

Formação acadêmica/titulação

2010 Mestrado em Química (Química Analítica) [Sp-Capital].
Universidade de São Paulo, USP, São Paulo, Brasil
Título: Caracterização da degradação/decomposição térmica de amostras de palha de aço e esponja sintética utilizadas em limpeza doméstica por análise térmica
Orientador: Prof. Dr. Jivaldo do Rosário Matos
Bolsista do(a): Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
Áreas do conhecimento : Química
Setores de atividade : Atividades profissionais, científicas e técnicas, Água, esgoto, atividades de gestão de resíduos e descontaminação

- 1997 - 2004** Graduação em Tecnológicas.
Universidade de São Paulo, USP, Sao Paulo, Brasil
- 1997 - 2003** Graduação em Licenciatura.
Universidade de São Paulo, USP, Sao Paulo, Brasil
- 1997 - 2003** Graduação em Bacharelado em Química.
Universidade de São Paulo, USP, Sao Paulo, Brasil

Formação complementar

- 2001 - 2001** Curso de curta duração em Capacitação para o uso de softwares educacionais.
Secretaria de Estado da Educação de São Paulo, SEMED, Brasil
- 1997 - 1997** Curso de curta duração em Polímeros/Aplicações..
Universidade de São Paulo, USP, Sao Paulo, Brasil
- 1997 - 1997** Curso de curta duração em Tratamento de Água e Efluentes.
Universidade de São Paulo, USP, Sao Paulo, Brasil

Atuação profissional

1. Anglo Escola do Futuro - EDF

Vínculo institucional

- 2013 - Atual** Vínculo: Celetista , Enquadramento funcional: Professor , Carga horária: 12, Regime: Parcial

2. Colégio Quarup - Objetivo - QUARUP

Vínculo institucional

- 2000 - 2007** Vínculo: Celetista , Enquadramento funcional: Professor , Carga horária: 16, Regime: Parcial

Projetos

Projetos de pesquisa 2010 – 2012: Caracterização da degradação/decomposição térmica de amostras de palha de aço e esponja sintética utilizadas em limpeza doméstica por análise térmica

Descrição: Objetiva a caracterização comparativa do comportamento de degradação/decomposição térmica da esponja sintética, base poliuretana, (parte amarela e parte verde) e palha de aço para uso na limpeza doméstica a partir da análise térmica (TG, DTA e DSC).

Situação: Em andamento Natureza: Projetos de pesquisa

Alunos envolvidos: Mestrado acadêmico (1);

Integrantes: Renata Aparecida Neres; Jivaldo do Rosário Matos (Responsável)

Financiador(es): Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico-CNPq

Idiomas

Inglês	Compreende Razoavelmente , Fala Razoavelmente , Escreve Razoavelmente , Lê Bem
---------------	--

Prêmios e títulos

2002	Menção Honrosa em Meio Ambiente e Tratamento de Resíduos, Congresso Nacional de Meio Ambiente
-------------	---

Produção

Produção bibliográfica

Apresentação de trabalho e palestra

1. NERES, R. A., OLIVEIRA, J. F., Matos; J. R.

CARACTERIZAÇÃO TERMOANALÍTICA E ESTUDO CINÉTICO DA DECOMPOSIÇÃO TÉRMICA DA PARTE VERDE DA ESPONJA DUPLA FACE., 2012. (Congresso, Apresentação de Trabalho)

Referências adicionais : Brasil/Português; Local: Centro de Convenções.; Cidade: Campos do Jordão.; Evento: VIII CBRATEC e III Pan Americano de Análise Térmica e Calorimetria.; Inst.promotora/financiadora: USP

2. NERES, R. A., OLIVEIRA, J. F., Matos; J. R.

Caracterização termoanalítica e estudo cinético da decomposição térmica da parte amarela da esponja de uso doméstico., 2011. (Congresso, Apresentação de Trabalho)

Áreas do conhecimento : Química Analítica

Referências adicionais : Brasil/Português. Meio de divulgação: Impresso; Local: Campos do

Jordão.; Evento: 16º Encontro nacional de química analítica: Química analítica sem fronteiras.; Inst.promotora/financiadora: USP

Eventos

Eventos

Participação em eventos

1. **1º Fórum das universidades públicas paulistas: ciência e tecnologia em resíduos.**, 2003. (Outra)

Tratamento de resíduos químicos e química ambiental como ferramentas para promoção da cidadania no ensino médio..

2. **Ética, meio ambiente e legislação.**, 2002. (Outra)

.

3. **XXVI Semana da Química.**, 1997. (Oficina)

.

Totais de produção

Produção bibliográfica

Apresentações de trabalhos (Congresso).....	2
---	---

Eventos

Participações em eventos (oficina).....	1
---	---

Participações em eventos (outra).....	2
---------------------------------------	---