



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E  
ENGENHARIA DE MATERIAIS**



**TESE**

**NORMA MARIA DE OLIVEIRA LIMA**

**DESENVOLVIMENTO DE ARTEFATOS VÍTREOS OBTIDOS PELA RECICLAGEM  
DE LIXO ELETRÔNICO – CARACTERIZAÇÃO E PROCESSAMENTO**

Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dra. CRISLENE RODRIGUES DA S. MORAIS

Colaboradora: Prof<sup>ª</sup>. Dra. LENILDE MÉRGIA RIBEIRO LIMA

CAMPINA GRANDE - PB  
2012

**Norma Maria de Oliveira Lima**

**DESENVOLVIMENTO DE ARTEFATOS VÍTREOS OBTIDOS PELA RECICLAGEM  
DE LIXO ELETRÔNICO – CARACTERIZAÇÃO E PROCESSAMENTO**

Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências e Engenharia de Materiais do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal de Campina Grande, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutora em Ciência e Engenharia de Materiais.

**CAMPINA GRANDE/PB  
2012**

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

L732d Lima, Norma Maria de Oliveira  
Desenvolvimento de artefatos vítreos obtidos pela reciclagem de lixo eletrônico – caracterização e processamento / Norma Maria de Oliveira lima. – Campina Grande, 2012.  
84. : il. ; color.

Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia.  
Orientadores: Prof. Dr. Crislene Rodrigues da Silva Morais.  
Referências.

1. Lixo Eletrônico. 2. Tubos de Raios Catódicos. 3. Resíduos Vítreos.  
4. Desenvolvimento Sustentável. I. Título.

CDU 658.78(043)

DESENVOLVIMENTO DE ARTEFATOS VÍTREOS OBTIDOS PELA  
RECICLAGEM DE LIXO ELETRÔNICO-CARACTERIZAÇÃO E  
PROCESSAMENTO.

**Norma Maria de Oliveira Lima**

Tese Aprovada em 28/02/2012 pela banca examinadora constituída dos seguintes  
membros:



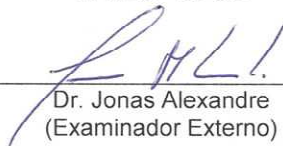
---

Dr<sup>a</sup>. Crislene Rodrigues da Silva Moraes  
(Orientadora)  
UAEMa – UFCG



---

Dr<sup>a</sup>. Lenilde Mérgia Ribeiro Lima  
(Examinadora Externa)  
UATEC - UFCG



---

Dr. Jonas Alexandre  
(Examinador Externo)  
UENF



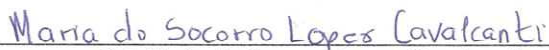
---

Dr. Reginaldo Severo de Macedo  
(Examinador Interno)  
UAEMa - UFCG



---

Dr<sup>a</sup>. Soraya Alves de Moraes  
(Examinadora Externa)  
CCT - UEPB



---

Dr<sup>a</sup>. Maria do Socorro Lopes Cavalcanti  
(Examinadora Externa)  
CCHSA - UFPB

## **Agradecimentos**

A Deus, pelo o dom da sabedoria, necessário para a construção desse trabalho.

À Professora Doutora Crislene Rodrigues da Silva Moraes, pela dedicação na orientação para que tornasse este trabalho possível, e pelo entusiasmo com que trata as questões sobre vidros com pensamentos luminosos para construção deste trabalho, e principalmente pela relação de amizade e confiança construída durante todo este tempo.

Aos meus filhos Esdras e Maria Eduarda pela paciência, dedicação e por compreender a minha ausência durante esse processo.

À minha família. Em especial, minha Mãe Normanda que sempre incentivou e contribuiu significativamente para minha formação.

À Professora Doutora Lenilde Mérgia Ribeiro Lima pelas correções e sugestões relevantes feitas durante a orientação e que atuou como minha coorientadora, muito obrigada.

Às professoras Djane, Lisiane e Soraya pela contribuição na realização deste trabalho, meus sinceros agradecimentos.

Aos funcionários da Unidade acadêmica de Engenharia de Materiais, Márcia, Violeta, Geraldo, Sr. Fernando, Sr. Ananias, André, Mila e Emanuel, pois sempre que foi preciso contribuíram com a realização deste trabalho.

Aos meus amigos e colegas do mestrado e doutorado que me ajudaram e incentivaram durante esta pesquisa e, em especial, aos amigos Lourenço, Valmir, Jozilene, Maria Coutinho, Alderiza, Renê, Valdênia, Valdileide, Taline, Gabriela, Sileide e Fátima Roneiva.

Aos professores do mestrado e doutorado, aprendi e tenho aprendido muito com vocês.

Às queridas amigas, Hely e Corrita por todo apoio e incentivo, vocês são especiais.

A Adriano Marques, técnico em Biotecnologia do Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido – CDSA, pela contribuição na parte experimental.

Aos técnicos Amanda Kelly, Everton, Osvaldo, Paloma e Simone, do Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido – CDSA, pelo apoio e incentivo.

À equipe do Centro de atividades em Vidros – Cavi/Habilidades Manuais.

Ao coordenador da Pós-Graduação, Professor Doutor Gelmires Neves de Araújo, pois sempre que precisei fui atendida.

A todos que contribuíram e me apoiaram de forma direta ou indireta para realização deste trabalho.

**O amigo fiel é forte proteção;  
Quem o encontrou achou um tesouro.  
(Eclesiástico)**

**Lima, N. M. O.** Desenvolvimento de artefatos vítreos obtidos pela reciclagem de lixo eletrônico – Caracterização e Processamento. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Campina Grande – UFCG.

## RESUMO

A vigorosa industrialização do mundo moderno, o consumo elevado, o ritmo acelerado da inovação e a chamada obsolescência programada fazem com que os equipamentos eletrônicos se transformem em lixo eletrônico em pouco tempo. Faz parte desse lixo milhares de monitores de computador que são erroneamente descartados no meio ambiente, pois estes contêm grande quantidade de resíduos vítreos que podem ser reaproveitados e/ou reciclados. A reciclagem desse tipo de resíduo se dá sem perda de volume ou das propriedades. Este trabalho tem como objetivo coletar, caracterizar e reciclar os resíduos vítreos oriundos dos Tubos de Raios Catódicos, identificados pela sigla CRT (Cathode Ray Tubes), que integram monitores de computadores. Esses materiais foram caracterizados através das técnicas de Florescência de Raios-X, Difração de Raios-X, Microscopia Eletrônica de Varredura, Termogravimetria, Análise Térmica Diferencial e Espectroscopia na Região do Infravermelho com Transformada de Fourier. Os resíduos vítreos foram submetidos a dois processos técnicos de reciclagem: o Termoformado (*slumping*) e o Vidro Vertido (*casting*) para a fabricação de objetos artesanais. Para tanto, foram confeccionados moldes de gesso, quartzo e feldspato (GQF) e de gesso. Após as caracterizações observou-se que os vidros da tela e do funil, que constituem o monitor, apresentaram composições químicas diferentes, sendo o óxido de silício ( $\text{SiO}_2$ ) o componente em maior percentual nestes vidros, com teores de 59,89% e 48,63% para tela e funil, respectivamente. Os difratogramas de raios-X das amostras dos resíduos vítreos do funil e da tela são semelhantes entre si, apresentando uma banda amorfa que indica ausência de fases cristalinas. Nas micrografias do resíduo vítreo, foi observada considerável irregularidade no tamanho das partículas, enquanto que a termogravimetria mostrou a estabilidade térmica do vidro. Foram realizadas análises a diferentes temperaturas para identificar a temperatura adequada às técnicas Termoformado (*slumping*) e Vidro Vertido (*casting*), determinando-se 760 e 800 °C, respectivamente. Para as técnicas de reciclagem utilizadas pode-se concluir que os CRT dos monitores do computador têm potencial para serem reciclados na produção de artefatos de decoração, contribuindo com a preservação do meio ambiente de acordo com os princípios da sustentabilidade.

**Palavras-Chave:** Lixo Eletrônico, tubos de raios catódicos, resíduos vítreos, desenvolvimento sustentável.



Lima, N. M. O. Development of vitreous artifacts obtained by recycling of electronic waste - Characterization and Processing. Doctoral Thesis. Federal University of Campina Grande - UFCG.

## ABSTRACT

The vigorous industrialization of modern world, high consumption, accelerated rhythm of the innovation and programmed obsolescence do with that electronic equipments become electronic waste in short time. Thousands of computer monitors that are erroneously discarded in the environment are part of that waste, because these contain great amount of vitreous residues that can be reused and/or recycled. Recycling of that type of residues occurs without volume or properties loss. This work has as objective collects, to characterize and to recycle vitreous residues originating from of Cathode Rays Tubes, identified for CRT (Cathode Ray Tubes), which integrate monitors of computers. Those materials were characterized through X-Ray Fluorescence, X-Ray Diffraction, Scanning Electron Microscopy, Thermogravimetry, Differential Thermal Analysis and Fourier Transform Infrared Spectroscopy techniques. Vitreous residues were submitted to two recycling technical processes: Slumping and Casting to handcrafts production. For so much, plaster, quartz and feldspar (GQF) and plaster molds were made. After the characterizations it was observed that screen and funnel glasses, that constitute the monitor, presented different chemical compositions, being silicium oxide ( $\text{SiO}_2$ ) the component in larger percentile in these glasses, with 59.89% and 48.63% grades for screen and funnel, respectively. X-ray diffractograms of funnel and screen vitreous residues samples are to each other similar, presenting an amorphous band that indicates absence of crystalline phases. In vitreous residue micrographs, considerable irregularity was observed in the particles size, while thermogravimetry showed glass thermal stability. Analyses were accomplished to several temperatures to identify the appropriate temperature to Slumping and Casting techniques, being determined 760 and 800 °C, respectively. For recycling techniques used can be concluded that computer monitors CRT has potential to be recycled in decoration artifacts production, contributing with environment preservation in agreement with sustainability principles.

**Keywords:** Electronic waste, cathode ray tubes, vitreous residues, sustainable development.

## PUBLICAÇÕES

LIMA, N. M. O; MORAIS, C. R. S; LIMA; L. M. R; ALBUQUERQUE, A V.: **Electronic waste: Characterization of the glass of cathode ray tube computer for making decorative pieces by recycling.** In: EIGHTH INTERNATIONAL LATIN-AMERICAN CONFERENCE ON POWDER TECHNOLOGY – PTECH 2011, Florianópolis – Santa Catarina, Brasil, 2011.

LIMA, N. M. O; MORAIS, C. R. S; LIMA; L. M. R.: **LIXO ELETRÔNICO: CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DOS VIDROS DE TUBOS DE RAIOS CATÓDICOS COM VIABILIDADE PARA RECICLAGEM.** In: 55º Congresso Brasileiro de Cerâmica, Porto de Galinhas - PE, Brasil, 2011.

LIMA, N. M. O; MORAIS, C. R. S; LIMA; L. M. R.: **Lixo eletrônico: Caracterização do Vidro do Tubo de Raios Catódicos de Computadores para Reciclagem.** In: Revista Eletrônica de Materiais e Processos – REMAP, v.6.1 (2011) 59-62, INSS 1809-8797.

LIMA, N. M. O; MORAIS, C. R. S; FONSECA, F. R. A; ALBUQUERQUE, A. V; PORTO, V. S; BARBOSA, V. S. L; LEÃO, E. R.: **Lixo Tecnológico da Universidade Federal de Campina Grande – Uma Proposta de Gestão e Gerenciamento.** In: II SIMPOSIO NORDESTINO SOBRE RESÍDUOS SÓLIDOS – GESTÃO E TECNOLOGIA DE RECICLAGEM – II SINRES, Campina Grande – PB, 2010.

LIMA, N. M. O; MORAIS, C. R. S; FONSECA F. R. A.: **Recycling of waste vitreous of the type in soda-lime in manufacturing parts decorative crafts.** In: XXII INTERNATIONAL CONGRESS ON GLASS – ICG 2010, Salvador – BA, Brasil, 2010.

LIMA, N. M. O; MORAIS, C. R. S; ALBUQUERQUE, V, A.: **CAPACITAÇÃO DOS CATADORES PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL ATRAVÉS DE CURSO ARTESANAL DE DECOPAGEM EM EMBALAGENS DE VIDRO.** In: I CONGRESSO PARAIBANO DE GESTAO DO “LIXO”: Educação Ambiental e Sustentabilidade, Campina Grande – PB, 2009.

LIMA, N. M. O; MORAIS, C. R. S; MENESES, R. L; SILVA, M. F; SILVA, E. L.: **“CAPACITAÇÃO EM GESTÃO E EMPREENDEDORISMO SOLIDÁRIO PARA CATADORES DE RESÍDUOS VÍTREOS DE CAMPINA GRANDE”.** In: II simpósio de Ensino, Pesquisa e Extensão e II Semana do meio Ambiente – A Universidade e o Compromisso na Gestão Ambiental, Cáceres – MT, 2009.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Modelo de disposição dos átomos de um material ordenado (cristal) e do vidro (amorfo) .....	13
Figura 2.2 – Ciclo de vida do vidro .....	25
Figura 2.3 – Evolução dos modelos de monitores de computadores .....	32
Figura 2.4 – Esquema do CRT do Monitor .....	33
Figura 2.5 – CRT e parte de sua composição .....	35
Figura 3.1 – Monitores de computadores em desuso .....	38
Figura 3.2 – Concreto Celular .....	39
Figura 3.3 – Molde em Cerâmica .....	39
Figura 3.4 – Uso do caulim como desmoldante de moldes em concreto celular e cerâmicos.....	40
Figura 3.5 – Fluxograma das etapas da pesquisa.....	43
Figura 3.6 – Desmontagem do monitor .....	44
Figura 3.7 – Vidro da tela e do funil do monitor .....	44
Figura 3.8 – Amostras peneiradas a) ABNT N° 200, b) ABNT N° 40, c) ABNT N° 10 .....	45
Figura 3.9 – Fluxograma das etapas do processo de reciclagem dos vidros .....	48
Figura 3.10 – Moldes em concreto celular para acomodação das amostras .....	48
Figura 3.11 – Molde em GQF .....	48
Figura 3.12 – Molde em Gesso .....	49
Figura 3.13 – Fornos utilizados nos processos técnicos .....	49
Figura 3.14 – Peça de vidro em molde .....	52
Figura 3.15 – Vidro triturado em molde .....	52
Figura 3.16 – Pastilha de resíduo vítreo sem e com acabamento.....	53
Figura 4.1 – Difratoograma de Raios-X do resíduo vítreo proveniente da tela do monitor .....	57
Figura 4.2 – Difratoograma de Raios-X do resíduo vítreo proveniente do funil do monitor .....	57
Figura 4.3 – Micrografia do resíduo vítreo proveniente da tela do monitor em escala de aumento a) 500x b) 2000x .....	58
Figura 4.4 – Micrografia do resíduo vítreo proveniente do funil do monitor em escala de aumento a) 500x b) 2000x.....	58
Figura 4.5 – Curva TG do resíduo vítreo proveniente da tela do monitor na	

razão de aquecimento de 10°C.min <sup>-1</sup> e atmosfera de nitrogênio..	59
Figura 4.6 – Curva TG dos resíduos vítreos provenientes da tela do monitor na razão de aquecimento de 10°C.min <sup>-1</sup> e atmosfera de Ar.....	59
Figura 4.7 – Curva TG dos resíduos vítreos provenientes do funil do monitor na razão de aquecimento de 10°C.min <sup>-1</sup> e atmosfera de nitrogênio.....	60
Figura 4.8 – Curva TG dos resíduos vítreos provenientes do funil do monitor na razão de aquecimento de 10°C.min <sup>-1</sup> e atmosfera de Ar.....	60
Figura 4.9 – Curva DTA dos resíduos vítreos provenientes da tela do monitor na razão de aquecimento de 10°C.min <sup>-1</sup> e atmosfera de nitrogênio.....	61
Figura 4.10 – Curva DTA dos resíduos vítreos provenientes da tela do monitor na razão de aquecimento de 10°C.min <sup>-1</sup> e atmosfera de Ar.....	61
Figura 4.11 – Curva DTA dos resíduos vítreos provenientes do funil do monitor na razão de aquecimento de 10°C.min <sup>-1</sup> e atmosfera de nitrogênio.....	62
Figura 4.12 – Curva DTA dos resíduos vítreos provenientes do funil do monitor na razão de aquecimento de 10°C.min <sup>-1</sup> e atmosfera de Ar.....	62
Figura 4.13 – Espectro na região do infravermelho: vidro proveniente do funil do monitor .....	63
Figura 4.14 – Espectro na região do infravermelho: vidro proveniente da tela monitor .....	63
Figura 4.15 – Perfil térmico dos artefatos confeccionados pelo método Termoformado .....	65
Figura 4.16 – Perfil térmico dos artefatos confeccionados pelo método de Vidro Vertido .....	66
Figura 4.17 – Artefatos confeccionados pela técnica Termoformado .....	68
Figura 4.18 – Resíduos vítreos em diferentes granulometrias: (a) 40 mesh, (b) 10 mesh .....	68
Figura 4.19 – Artefato confeccionado pelo método Vidro Vertido: (a) 10 mesh; (b) 40 mesh .....	69
Figura 4.20 – Pastilhas confeccionadas pelo método Vidro Vertido .....	69

## LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Equipamentos e Ferramentas utilizadas no trabalho de pesquisa..	41
Tabela 3.2 – Equipamentos de Proteção Individual – EPI.....	42
Tabela 3.3 – Temperaturas estudadas pela técnica de termoformado, por 120 Minutos.....	50
Tabela 3.4 – Temperaturas estudadas pela técnica de Vidro Vertido, por 120 Minutos.....	51
Tabela 4.1 – Composição Química de óxidos presentes nos vidros provenientes da tela e do funil do monitor.....	55

## LISTA DE SIGLAS

ABIVIDROS – Associação Técnica Brasileira das Indústrias Automotivas de Vidro  
ABINEE – Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica  
ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas  
CAVI – Centro de Artes em Vidros  
CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente  
CRT – Cathode Ray Tubes  
DRX – Difração de Raios-X  
DSC – Differential Scanning Calorimetry (Calorimetria Exploratória Diferencial)  
DTA – Differential Thermal Analysis (Análise Térmica Diferencial)  
EDS – Espectroscopia de Raios-X por Energia Dispersiva  
EEE – Equipamentos Elétricos e Eletrônicos  
EPI – Equipamentos de Proteção Individual  
FRX – Fluorescência de raios-X  
FGV – Fundação Getúlio Vargas  
GQF – Gesso, Quartzo e Feldspato  
LCD – Liquid Crystal Display  
MEV – Microscopia Eletrônica de Varredura  
OLED – Organic Light Emitting Diode  
PC – Personal Computer  
SNVS – Sistema Nacional de Vigilância Sanitária  
SISNAMA – Sistema Nacional do Meio Ambiente  
SUASA – Sistema Unificado de Atenção à Sanidade Agropecuária  
TG – Termogravimetria

## SUMARIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>2</b>
1.1 OBJETIVOS .....	4
<b>1.1.1 Objetivo Geral</b> .....	<b>4</b>
<b>1.1.2 Objetivos Específicos</b> .....	<b>4</b>
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>6</b>
2.1 VIDROS .....	6
<b>2.1.1 História do Vidro</b> .....	<b>6</b>
<b>2.1.2 O Vidro</b> .....	<b>11</b>
<b>2.1.3 Composição dos Vidros</b> .....	<b>13</b>
<b>2.1.4 Classificação dos Vidros</b> .....	<b>14</b>
<b>2.1.5 Fabricação Artesanal de Vidro</b> .....	<b>16</b>
<b>2.1.6 Desvitrificação</b> .....	<b>20</b>
2.2 RECICLAGEM .....	22
<b>2.2.1 Sustentabilidade e Desenvolvimento Sustentável</b> .....	<b>25</b>
2.3 RESÍDUOS SÓLIDOS .....	28
<b>2.3.1 Lixo Eletrônico</b> .....	<b>29</b>
2.4 EVOLUÇÃO DOS MONITORES DE COMPUTADOR .....	31
<b>2.4.1 Tubos de Raios Catódicos – CRT</b> .....	<b>33</b>
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	<b>38</b>
3.1 MATERIAIS UTILIZADOS NA PESQUISA .....	38
<b>3.1.1 Resíduo Vítreo</b> .....	<b>38</b>
<b>3.1.2 Concreto Celular</b> .....	<b>38</b>
<b>3.1.3 Cerâmica</b> .....	<b>39</b>
<b>3.1.4 Caulim</b> .....	<b>39</b>
<b>3.1.5 Gesso</b> .....	<b>40</b>
<b>3.1.6 Quartzo</b> .....	<b>40</b>
<b>3.1.7 Feldspato</b> .....	<b>40</b>
3.2 EQUIPAMENTOS E FERRAMENTAS UTILIZADAS .....	41
3.3 EQUIPAMENTOS DE PROTEÇÃO INDIVIDUAL – EPI .....	42
3.4 MÉTODOS .....	43
<b>3.4.1 Desmontagem do Monitor para Retirar o Tubo de Raios Catódicos ...</b>	<b>43</b>

<b>3.4.2 Beneficiamento dos Resíduos Vítreos .....</b>	<b>44</b>
<b>3.4.3 Caracterização dos Resíduos Vítreos .....</b>	<b>45</b>
3.4.3.1 Fluorescência de raios-X (FRX) .....	45
3.4.3.2 Difração de raios-X (DRX) .....	46
3.4.3.3 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) .....	46
3.2.3.4 Termogravimetria e Análise Térmica Diferencial (TG/DTA) .....	46
3.4.3.5 Espectroscopia na Região do Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR) .....	47
<b>3.4.4 Processos Técnicos de Reciclagem dos Resíduos Vítreos .....</b>	<b>47</b>
3.4.4.1 Preparação dos Moldes .....	48
<b>3.4.4.2 Processo de Reciclagem do Vidro .....</b>	<b>49</b>
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>55</b>
<b>4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS VÍTREOS .....</b>	<b>55</b>
<b>4.1.1 Fluorescência de Raios-X .....</b>	<b>55</b>
<b>4.1.2 Difração de Raios-X .....</b>	<b>56</b>
<b>4.1.3 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) .....</b>	<b>58</b>
<b>4.1.4 Termogravimetria e Análise Térmica Diferencial (TG/DTA) .....</b>	<b>59</b>
<b>4.1.5 Espectroscopia na Região do Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR) .....</b>	<b>63</b>
<b>4.2 AVALIAÇÃO DOS MOLDES SOB CONDIÇÕES DE TRABALHO .....</b>	<b>64</b>
<b>4.2.1 Molde de Concreto Celular.....</b>	<b>64</b>
<b>4.2.2 Molde de Cerâmica.....</b>	<b>64</b>
<b>4.2.3 Molde de Gesso .....</b>	<b>64</b>
<b>4.2.4 Molde de GQF .....</b>	<b>64</b>
4.3 Processo de Reciclagem dos Vidros.....	65
<b>4.3.1 Comportamento dos Vidros do Monitor (Tela e Funil) quando Submetidos a Tratamento Térmico .....</b>	<b>65</b>
4.3.1.1 Características Visuais dos Artefatos Produzidos através das Técnicas Termoformado e Vidro Vertido .....	67
<b>5 CONCLUSÕES.....</b>	<b>72</b>
<b>Sugestões para futuras pesquisas.....</b>	<b>75</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>77</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>84</b>



# **CAPÍTULO I**

## **Introdução e Objetivos**

---

## 1 INTRODUÇÃO

O Brasil produz 2,6 kg de lixo eletrônico por habitante, cifra equivalente a menos de 1% dos 50 milhões de toneladas de resíduos eletrônicos produzidos no mundo anualmente. No entanto, a indústria eletrônica continua em expansão e, em 2009, foram vendidos no país 13,7 milhões de computadores, número maior do que o de televisores. A Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica – ABINEE (2011) estima um crescimento de vendas de 28% para este ano. Até 2012, espera-se que o número de computadores existentes no país dobre e chegue à marca dos 100 milhões de unidades.

Devido à velocidade da evolução tecnológica, as pessoas trocam seus aparelhos a intervalos cada vez mais curtos, pois constantemente surgem computadores mais velozes. Equipamentos de multimídia com maior capacidade de armazenagem tais como Ipods, TVs, computadores e outros são substituídos frequentemente pela população, devido à crescente demanda por novas tecnologias que surgem num processo planejado, obrigando o consumidor a substituir seus aparelhos que, na maioria das vezes, tornam-se obsoletos aos olhos de seus donos, contribuindo para o aumento do chamado **lixo eletrônico** ou **sucata eletrônica**.

Boa parte destes novos desperdícios, também conhecidos como “e-waste” (“electronic waste”, lixo eletrônico em inglês ou E-LIXO), pode ser definida como tudo o que é proveniente de equipamentos eletroeletrônicos, incluindo aparelhos celulares, monitores, computadores, impressoras e periféricos.

Os Equipamentos Elétricos e Eletrônicos (EEE) são uma das mais conhecidas fontes de metais pesados. Depois de utilizados, quase sempre terminam em depósitos ou lixões, nos quais liberam substâncias nocivas à saúde humana tais como chumbo, cromo, mercúrio e outros. Além dos metais pesados, que causam danos à saúde dos seres vivos, encontram-se também metais valiosos como ouro, prata e paládio. Os computadores contêm cobre, estanho, gálio e índio, metais únicos e indispensáveis e, portanto, de altíssimo valor.

Tudo isso seria bastante benéfico se o destino de grande parte dos equipamentos ultrapassados não fosse o meio ambiente, pois todos estes metais citados provenientes dos EEE causam um grande impacto na natureza.

O simples descarte dos equipamentos eletrônicos tecnicamente obsoletos representa um desperdício enorme de recursos naturais, uma vez que para

fabricação de 1 (um) computador são necessários 240 kg de combustíveis fósseis, 22 kg de produtos químicos e entre 1.500 a 1.800 L de água (FERREIRA e FERREIRA 2008).

Um monitor CRT – Tubo de Raio Catódico contém aproximadamente de 1,8 a 4,5 kg de metais pesados como chumbo e cádmio. A incineração de forma inadequada destes materiais pode contaminar o ar, o solo e as águas. A presença destes metais sugere que estes equipamentos devam ser tratados de forma separada do lixo urbano comum e reciclados quando possível (ROSA, 2010).

Com os avanços tecnológicos e o barateamento de componentes, os tubos de raios catódicos (CRT) foram sendo questionados pelo seu custo/benefício e também por suas dimensões e peso e, com isso, está havendo substituição por novos monitores. A nova era de monitores é leve, com baixíssimo consumo de energia e ainda mantém as mesmas qualidades dos CRT. Os novos monitores podem ser do tipo monitor de cristal líquido, ou LCD (*liquid crystal display*), que é muito leve e fino ou monitores de PLASMA, que são totalmente planos, possuem alta resolução, com excepcional reprodução de cores e são normalmente fabricados em proporções de telas diferentes das encontradas em CRT. Uma vez que os monitores CRT estão sendo substituídos por novos, estes têm sido amontoados, havendo necessidade de um destino final adequado.

A reciclagem de monitores de computador deve ser estudada e realizada, uma vez que a maior parte dos materiais existentes neste periférico é vidro, um material 100% reciclável (CEMPRE, 2011). Surge, então, a necessidade de se desenvolver uma tecnologia apropriada para a reciclagem destes vidros na produção de artefatos com características adequadas ao uso, diminuindo assim a quantidade de resíduos depositados nos lixões.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral

Desenvolver artefatos vítreos através da reciclagem dos tubos de raios catódicos (CRT), oriundos de monitores de computador, os quais foram caracterizados e processados, visando propor alternativas tecnológicas e ambientais para sua reciclagem, de acordo com os princípios da sustentabilidade.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- Coletar e desmontar os monitores de computadores para retirada dos tubos de raios catódicos (CRT).
- Caracterizar os resíduos vítreos através das seguintes técnicas: Fluorescência de Raios-X, Difração de Raios-X, Termogravimetria, Análise Térmica Diferencial, Análise Química através do Espectrômetro de Raios-X por Energia Dispersiva (EDX), Microscopia Eletrônica de Varredura e Espectroscopia na Região do Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR).
- Propor uma metodologia para o processo de reciclagem dos resíduos vítreos, levando em consideração as temperaturas de fusão adequadas para a produção de artefatos, por meio de técnicas de trabalho em fornos elétricos.
- Desenvolver produtos idealizados dentro de uma abordagem desconstrutivista, onde as características finais do produto em nada se assemelham ao objeto original reciclado.
- Obter moldes para fabricação dos artefatos decorativos, mencionando os parâmetros de influência na qualidade final do produto.
- Desenvolver uma tecnologia social que promova a geração de trabalho e renda para famílias carentes que fazem parte do Centro de Artes em Vidros – CAVI, Habilidades Manuais.

## **CAPÍTULO II**

### **Fundamentação Teórica**

---

## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **2.1 VIDROS**

#### **2.1.1 História do Vidro**

Os vidros existem na natureza desde que se formou a crosta terrestre e o homem fez muito uso deles antes de descobrir como produzi-los.

Os chamados vidros naturais podem ser formados quando alguns tipos de rochas são fundidas a elevadas temperaturas e, em seguida, solidificadas rapidamente. Esta situação pode, por exemplo, ocorrer nas erupções vulcânicas, formando os vidros naturais, chamados obsidiana e tektites.

Ao contrário de outras famílias de materiais, como os metais ou cerâmicos, os vidros, por serem esteticamente atraentes devido ao seu brilho e transparência foram inicialmente utilizados pelo homem apenas com funções decorativas e, apenas posteriormente, tiveram aplicações utilitárias (PEREIRA, 2006).

A seguir, é listada a ordem cronológica de alguns dos principais acontecimentos que marcaram a evolução dos vidros.

#### **9.000 a.C.**

No antigo Egito, pequenas contas de obsidiana (vidro natural de origem vulcânica) eram utilizadas para fins decorativos.

#### **7.000 a.C.**

Ao desembarcarem na costa da Síria, há cerca de 7000 anos a.C., os fenícios improvisaram fogões usando blocos de salitre sobre a areia. Observaram que, passado algum tempo de fogo vivo, escorria uma substância líquida e brilhante que solidificava rapidamente. Admite-se que os fenícios dedicaram muito tempo à reprodução daquele fenômeno, até obterem materiais utilizáveis. Shelby, em "Introduction to Glass Science and Technology" (2005), oferece-nos um cenário sugerindo que a combinação de sal marinho (NaCl), e talvez ossos (CaO), presentes nos pedaços de madeira utilizados para fazer fogo sobre a areia (SiO<sub>2</sub>), junto a água salgada do mar, reduziria suficientemente o seu ponto de fusão, de tal modo que vidro bruto, de baixa qualidade, poderia ser formado (BEVERIDGE et al., 2004).

**3.000 a. C.**

Os primeiros vidros que se conhecem datam de 3000 a.C., em plena idade do bronze, sendo provenientes da Mesopotâmia. Tendo sido um resultado de experiências com vidrados cerâmicos, permitiram a execução de pequenos objetos, como contas, com as quais se procurava imitar as qualidades físicas das pedras preciosas. Esses primeiros objetos de vidro, na sua maior parte de cor azul e verde, foram feitos a partir de talhe de vidro com as formas desejadas, sendo depois polidos. Foi, no entanto, no segundo milênio a.C. que a manufatura evoluiu de modo bastante significativo, ao ponto dos artesãos se revelarem capazes de criar objetos ocos, sem necessidade de talhar um bloco de vidro (BEVERIDGE et al., 2004).

Nas margens do Mediterrâneo (atual Líbano) surgem as primeiras peças de vidro (areia e soda fundidas a temperaturas superiores a mil graus Celsius), pequenas contas e figuras decorativas maciças, realizadas por mestres Armóritas e Sumérios (PEREIRA, 2006).

**1650 a. C.**

Deu-se início à produção de pequenos recipientes de vidro através da técnica do núcleo prévio ou núcleo de areia, que se tornaria um dos processos mais utilizados e difundidos até o aparecimento do vidro soprado. Consistia em elaborar um núcleo cuja forma gerava o interior do recipiente (BEVERIDGE et al., 2004).

**600 a.C.**

Data desta época o mais antigo manual de arte vidreira conhecido, pertencente à biblioteca de Ashurbanipal, Rei dos Assírios.

**200 a.C.**

Um desenvolvimento fundamental na arte de fazer objetos de vidro deu-se por volta do ano 200 a.C., quando artesãos sírios da região da Babilônia e Sidon desenvolveram a técnica de sopro. Através desta técnica, um tubo de ferro de aproximadamente 100 a 150 cm de comprimento, com 1 cm de diâmetro, permitia ao vidreiro introduzi-lo no forno contendo a massa de vidro fundida, e retirar uma certa quantidade que, soprada pela extremidade contrária, dava origem a uma peça oca. Data desta época, também, a utilização de moldes de madeira para a produção de peças de vidro padronizadas (ALVES et al., 2001).

**100 a.C.**

Na Alexandria surgem os primeiros vidros incolores, graças à introdução de óxido de manganês nas composições e a melhoramentos importantes nos fornos, como a geração a altas temperaturas e o controle da atmosfera de combustão, os quais tiveram marcada influência sobre a qualidade dos vidros e permitiram uma fusão mais eficiente dos materiais constituintes (ALVES et al., 2001).

No Império Romano, o vidro era colorido pela adição de óxido de magnésio e generalizou-se sua aplicação em janelas. Após um longo período de decadência tecnológica que acompanha o declínio do Império Romano, renasce o interesse pelo vidro associado ao seu uso nos vitrais das catedrais. Hrabanus Maurus, bispo da Magúncia, compila pela primeira vez no livro de Originibus Rerum os conhecimentos sobre o vidro, sua composição e laboração.

**1300 d. C.**

Os venezianos descobrem a composição do “cristallo”, vidro de elevada transparência, e dominam a partir da ilha de Murano a tecnologia do vidro nos séculos seguintes.

**1400 d. C.**

O vidro Alemão ou da floresta, obtido pela substituição parcial da soda por potassa (hidróxido de potássio), obtida da cinza das árvores, atinge a sua maturidade. Este vidro, pela sua composição, é mais difícil de ser moldado, mas mais adaptado à decoração por lapidação.

**1600 d. C.**

George Ravenscroft inicia, em 1675, a produção do vidro “flint” para resolver as dificuldades da fusão do vidro a partir da queima de carvão. Também conhecido por cristal de chumbo, as suas características de brilho e transparência fazem dele a referência de topo do vidro, destronando o “cristallo” veneziano.

- Em 1687, o italiano Bernardo Perrotto testa, com sucesso industrial, a produção de vidro plano estirando a massa fundente sobre uma mesa metálica (PEREIRA, 2006).
- Em 1765, inicia-se a produção do vidro cristal.



- Em 1700, a Saint-Gobain introduziu na sua fábrica um processo de laminação de vidro plano desenvolvido por Louis Lucas Nehon.
- Em 1787, inicia-se a utilização de aparelhos de vidro para o estudo das propriedades físicas dos gases: Lei de Boyle e Charles.
- Em 1800, dá-se a revolução industrial, a qual abre uma nova era na fabricação de vidros. São usadas, pela primeira vez, matérias primas sintéticas e disponibilizados vidros com propriedades controladas.
- Em 1840, a Siemens desenvolve o forno do tipo tanque, para a produção de vidro em grande escala (produção de recipientes e vidro plano).
- Em 1863, é introduzido o processo “Solvay” que reduz drasticamente o preço da principal matéria prima para fabricação de vidros.
- Em 1875, são desenvolvidos vidros especiais na Alemanha por Abbe, Schott e Carl Zeiss.
- A Universidade de Jena torna-se o maior centro de ciência e engenharia do vidro.
- Em 1876, é fundada a Bauch & Lomb Optical Company, em Rochester, Nova York, e inicia-se a fabricação de lentes e outros componentes ópticos.
- Em 1881, apresentam-se os primeiros estudos sobre propriedade-composição de vidros para a construção de instrumentos ópticos, tais como o microscópio.
- Em 1886, é desenvolvida, por Ashley, a primeira máquina para soprar vidro.
- Em 1915, a Universidade de Sheffield, na Inglaterra, funda o Departamento de Tecnologia do Vidro, hoje chamado Centro para a Pesquisa do Vidro.

- Em 1920, a Griggith propõe a teoria que permite compreender a resistência dos bulbos de vidro, o que levou ao entendimento e aperfeiçoamento da resistência dos vidros.
- Em 1926, Wood e Gray desenvolveram uma máquina que permitiu a fabricação de bulbos e invólucros de vidro em grande escala (1000 peças/minuto).
- Em 1932, Zachariasen publica o seu famoso trabalho sobre a hipótese da rede aleatória e as regras para a formação de vidros no Journal of American Chemical Society (ALVES et al., 2001).
- Em 1936, demonstrando avanço no processo de produção de subprodutos do vidro, foi desenvolvida a fibra de vidro, ou filamentos finos de vidro utilizados para produzir fios e material têxtil. Esta fibra é utilizada na fabricação de isolantes, plásticos reforçados por fibras e outros materiais compostos (PEREIRA, 2006).
- 1950-1960, a companhia americana Ford Motor Co. Fundou o principal centro de pesquisa em vidro. A ciência do vidro torna-se a sua maior área de pesquisa.
- Em 1959, a empresa Pilkington desenvolveu e patenteou um processo revolucionário para produção do vidro plano, o “float-glass”. Este processo consistiu na flutuação do vidro fundido, de forma contínua, num banho de estanho que, pelo efeito do seu próprio peso e do calor, torna a face superior perfeitamente plana e polida, atribuindo-lhe melhor transparência e com uma espessura uniforme.
- Em 1960, Turnbull e Cohen propõem um modelo para a formação de vidros, baseado no controle da cristalização através da taxa de esfriamento.
- Em 1970, a Corning Glass americana produz a primeira fibra ótica de sílica, usando técnicas de deposição química de vapor, para reduzir a atenuação, aumentando o sinal da transmissão.

- Em 1984, Marcel Poulain, Michel Poulain e Jacques Lucas descobrem os primeiros vidros fluoretados em Rennes, na França.

Atualmente, as pesquisas estão concentradas nos vidros à base de óxidos utilizando processos tradicionais de fusão. Nos últimos 20 anos foram desenvolvidos novos processos de fabricação de vidros, como o processo sol-gel (totalmente químico, em que não se usa a fusão) e os processos baseados na deposição química de vapor (ALVES et al., 2001).

### **2.1.2 O Vidro**

O vidro é um material obtido a partir da fusão de algumas substâncias inorgânicas, em geral areia de sílica e óxidos metálicos secos pulverizados ou granulados. Durante o processo de fusão forma-se uma massa viscosa, transparente e homogênea a temperaturas superiores a 1.000 °C. O arrefecimento desta massa viscosa até a temperatura ambiente, de forma controlada, para evitar a desvitrificação ou cristalização, dá origem a um “Estado Vítreo” em que o vidro adquire uma rigidez adequada ao seu manuseio, possibilitando a sua obtenção sob diversas formas. Este sólido duro, que não muda de forma, tem a mesma densidade dos cristais de igual composição e várias outras propriedades comuns aos cristais (MAIA, 2003).

Maia (2003) ainda define vidro como um produto inorgânico resultante de uma fusão que resfriou até o estado rígido sem haver cristalização.

Não se sabe exatamente quando o vidro foi “descoberto”, mas comprovadamente sabe-se que povos antigos como os egípcios, sírios, fenícios e babilônios já realizavam trabalhos em vidro, mas foi com a produção em massa, durante a Revolução Industrial, que este material assumiu um papel definitivo na história da humanidade, presente em todos os momentos da vida moderna (ABIVIDRO, 2008).

Segundo Alves et al. (2001) um desenvolvimento fundamental na arte de fazer vidros deu-se por volta do ano 200 a. C., quando artesãos sírios desenvolveram a técnica da sopragem.

No Brasil, a história do vidro ocorreu entre 1624 e 1635, com a invasão holandesa montada em Pernambuco pelos artesãos trazidos por Maurício de

Nassau. Com a determinação de todas as manufaturas, em 1735, o vidro passou a ser importado de alguns países da Europa. A partir do século XIX e início do século XX, manufaturas de vidro foram criadas, sendo que algumas atuam até hoje no mercado brasileiro (ABIVIDRO, 2008).

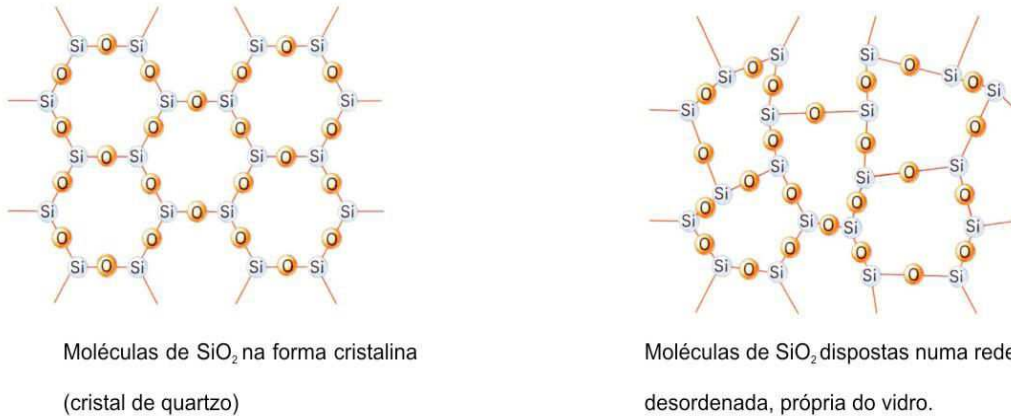
Analisando as características do vidro, pode-se identificar que merecem importância com relação à questão ambiental, pois mesmo quando descartado não polui o meio ambiente e é fabricado exclusivamente com matérias primas naturais como areia, barrilha, calcário e feldspato (ABIVIDRO, 2008).

Qualquer matéria pode ser classificada segundo o seu estado sólido, líquido ou gasoso. No caso do vidro, verifica-se a criação de um “estado vítreo”, caracterizado pela sua estrutura amorfa (não cristalina) traduzida microscopicamente pelo agrupamento desordenado de íons, átomos ou moléculas. A desordem estrutural da matéria vítrea faz com que ela se assemelhe mais à dos líquidos, embora não possa ser considerada como um líquido, mas sim um produto inorgânico fundido, que arrefeceu até ter atingido um estado rígido sem cristalizar (MAIA, 2003).

Geralmente as matérias primas utilizadas na fabricação do vidro são divididas em três grupos, de acordo com o papel que desempenham, sendo eles vitrificantes, fundentes e matérias secundárias.

A sílica, sob a forma de dióxido de silício ( $\text{SiO}_2$ ), é o componente principal do vidro, representando 60 a 80% do seu peso, e é utilizada como vitrificante. A esta matéria são acrescentados os fundentes, de caráter sódico ou potássico, que servem para favorecer a formação do material e baixar a temperatura de fusão, e os estabilizantes que são materiais que conferem dureza à matéria vítrea tendo normalmente caráter cálcico (MAIA, 2003). A Figura 2.1 demonstra o modelo de disposição dos átomos de um material ordenado (cristal) e do vidro (amorfo).

**Figura 2.1 – Modelo de disposição dos átomos de um material ordenado (cristal) e do vidro (amorfo)**



Fonte: Adaptado de Maia, 2003

### 2.1.3 Composição dos Vidros

O vidro comum, o qual é 100% reciclável, sendo constituído uma mistura balanceada, dosada de várias matérias primas que consistem em silicatos não-cristalinos e que também contém outros óxidos, notavelmente CaO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O e Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Cada substância tem uma função específica que confere uma dada propriedade ao vidro. O vidro de sodo-cálcico típico, consiste em aproximadamente 70% SiO<sub>2</sub>, sendo o restante composto principalmente por Na<sub>2</sub>O (soda) e CaO (cal) (AKERMAN, 2006).

As matérias primas que compõem estes vidros são divididas segundo suas funções em:

- **Vitrificante** – é considerado, pela sua natureza, o verdadeiro esqueleto do vidro, composto de sílica tão pura quanto possível e proveniente das areias ou das rochas de quartzo.
- **Fundentes** – tem a função de baixar o alto grau de fusão da sílica. Ex.: carbonato de sódio (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>), carbonato de potássio (K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) e óxido de chumbo (PbO).
- **Estabilizantes** – dão a resistência química a fatores do meio ambiente como a umidade, o calor, a luz e gases naturais. Ex.: carbonato de bário (BaCO<sub>3</sub>), carbonato de cálcio (CaCO<sub>3</sub>), carbonato de magnésio (MgCO<sub>3</sub>) e óxido de alumínio (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>).

- **Afinantes** – têm por função a formação, na massa vítrea em fusão, de grandes bolhas gasosas que, ao libertarem-se para a superfície, arrastam o gás retido sob a forma de minúsculas bolhas. Ex.: óxido de arsênio ( $\text{As}_2\text{O}_3$ ), óxido de antimônio ( $\text{Sb}_2\text{O}_3$ ) e nitrato de sódio ( $\text{NaNO}_2$ ).
- **Descorantes** – utilizados nos vidros brancos para compensarem a cor esverdeada ou amarelo-esverdeada da massa fundida, resultante das impurezas das matérias primas naturais como o ferro, o níquel e o cobre. Ex.: óxido de manganês ( $\text{Mn}_2\text{O}_7$ ) e nitrato de potássio ( $\text{KNO}_3$ ).
- **Corantes** – matérias primas que, misturadas à composição dos vidros brancos, lhes dão a coloração pretendida. Ex.: óxido de prata ( $\text{Ag}_2\text{O}$ ) para obtenção de vidros amarelos; cobalto (Co) para vidros azuis; manganês (Mn) para vidros ametista; óxido de ferro ( $\text{FeO}$ ) para vidros verdes; púrpura de cássio para vidros vermelhos, criolita para vidros opala.

#### 2.1.4 Classificação dos Vidros

Existem inúmeros tipos de vidros, de acordo com a seguinte classificação:

a) Quanto à utilização:

- Vidros para embalagens – garrafas, potes, frascos e outros vasilhames fabricados em vidro comum nas cores branca, âmbar verde e azul.
- Vidro plano – janelas, portas, fachadas, automóveis, vidros planos lisos, vidros cristais, vidros impressos, temperados, laminados, aramados e coloridos fabricados em vidro comum.
- Vidros domésticos – tigelas, travessas, copos, pratos, panelas e produtos domésticos fabricados em diversos tipos de vidros.
- Vidros técnicos – lâmpadas, tubos de TV, vidros para laboratório, para ampolas, para garrafas térmicas, vidros oftálmicos e isoladores elétricos (vidro fino).

b) Quanto à composição:

A maior parte dos vidros é fabricada a partir de uma mistura de óxido de silício com outros óxidos metálicos, que atuam como fundentes, dando origem a vários tipos de vidro.

De uma maneira geral, existem três grandes grupos de vidros:

- Vidro sílico-sodo-cálcico ou vidro alcalino – é utilizado na fabricação do vidro plano de construção, em embalagem, e representa cerca de 95% de todo o vidro fabricado mundialmente.
- Vidro de chumbo ou cristal – é obtido a partir da fusão da sílica, potássio e chumbo, apresenta um elevado índice de refração e é mais brilhante do que o vidro comum, o que permite gravar, cortar e decorar, sendo por isso mais utilizado na produção de peças artísticas. Vidro com maior porcentagem de óxido de chumbo (65%) pode ser usado como protetor contra as radiações, dada à sua capacidade de absorção dos raios gama, e outras formas de radiações prejudiciais (MAIA 2003). Este vidro apresenta menor condutividade elétrica do que o vidro alcalino, daí a sua utilização em aparelhos científicos.
- Vidro de boro-silicato – composto por sílica, ácido bórico ( $H_3BO_3$ ), ácido fosfórico ( $H_3PO_4$ ) e, em determinadas circunstâncias, o óxido de alumínio ( $Al_2O_3$ ), que conferem a este vidro elevada resistência química e estabilidade térmica. Caracterizados pelo seu baixo teor de alcalóide, apresenta uma durabilidade química e resistência ao choque térmico. Desta forma, é adequado para utilização na indústria química, material de laboratório, para ampolas ou outras embalagens farmacêuticas, para aplicações de luz, com alta densidade, e fibra de vidro usada na indústria têxtil ou para plásticos reforçados com fibras. Nos lares, os vidros boro-silicato são familiares, através dos vidros designados no mercado por Pyrex e que podem ser congelados, levados ao forno e à máquina de lavar louça (PERREIRA, 2006).

Existem ainda outros tipos de vidros importantes, mas representam uma menor parte da utilização total dos vidros, tais como: o vidro de sílica, o vidro aluminossilicato, o vidro cerâmico e os vidros óticos.

- Vidro de Sílica – com elevada importância técnica, mas com a necessidade de uma elevada temperatura, pois seu alto ponto de fusão de  $1500^{\circ}C$  faz com que a sua transparência seja difícil e dispendiosa de alcançar. Uma das alternativas que torna o seu uso menos dispendioso, em muitas aplicações, é a sílica fundida, cujo ponto de fusão é consideravelmente mais baixo, mas a formação de pequenas bolhas de gás no produto final confere uma superfície não transparente.

- Vidro de aluminossilicato – representa um pequeno e importante grupo de vidros, contendo cerca de 20% de óxido de alumínio e, por vezes, óxido de cálcio, óxido de magnésio e óxido bórico em porcentagens reduzidas. A fusão deste tipo de vidro requer altas temperaturas, o que o torna um vidro difícil de trabalhar, mas com a vantagem de adquirir boa resistência ao choque térmico. As aplicações técnicas incluem, entre outras, tubos de combustão e lâmpadas de halogênio-tungstênio capazes de operar a temperaturas de 750°C.
- Vidro cerâmico – uma característica essencial da estrutura de vidro é a ausência de cristais, no entanto, através da estimulação propositada de crescimento de cristais nos vidros, é possível produzir uma grande variedade de materiais, com cristalização controlada, sendo possível combinar muitas das melhores qualidades do vidro e da cerâmica. Alguns destes vidros cerâmicos são formados tipicamente por vidros de silicato do alumínio de lítio, que apresentam elevada resistência ao choque térmico e têm aplicações tais como artigos de cozinha e espelhos para telescópios astronômicos.
- Vidros óticos – podem ser desenhados para quase todas as combinações específicas de propriedades óticas, sendo a mais importante o índice refratário e a dispersão. Uma das características dos vidros óticos é a sua reação à luz ultravioleta ou ondas infravermelhas, tornando-se escuros e voltando à coloração original (PERREIRA, 2006).

### 2.1.5 Fabricação Artesanal de Vidro

Segundo Schuartz (2002), a fabricação artesanal de vidro pode ser dividida em vidro frio e vidro quente, devido à forma de trabalho e às ferramentas utilizadas.

#### a) Vidro frio

As técnicas de vidro frio são aquelas onde não há o aquecimento do vidro. Portanto, se trabalha com o vidro já fundido, seja ele plano ou oco. Dentre as técnicas, tem-se: corte, lapidação, gravação, jato de areia, corrosão e colagem.

- **Corte** – O vidro pode ser “cortado” através do risco feito pelo diamante, que possui uma dureza superior à do vidro. Ao ser riscado, o vidro cria um “defeito” na superfície que facilita o corte no local marcado. Em seguida, é exercida uma pequena força no vidro e ocorre a separação.



- **Lapidação** – Esta técnica visa eliminar rebarbas, cantos vivos e partes cortantes de qualquer técnica utilizada na confecção da peça.
- **Gravação** – Utiliza-se uma ponta diamantada muito fina acoplada a um motor elétrico de baixa rotação. Ao entrar em contato com a peça de vidro, a ponta diamantada remove uma pequena parte da superfície.
- **Jato de areia** – Consiste em jatear o vidro com areia e água, fazendo com que o mesmo fique com uma superfície fosca e desgastada; pode ser utilizado para a opacação e para o desbaste. A opacação é um recurso de desenho, enquanto o desbaste é um recurso de escultura que produz baixo relevo.
- **Corrosão** – Trata-se do ataque da superfície do vidro através do ácido fluorídrico, que possui um forte poder corrosivo. Ao atacar o vidro, o ácido deixa uma superfície fosca e desgastada, semelhante à do jato de areia.
- **Colagem** – É um recurso bastante utilizado para restauração e acabamento de peças, principalmente na área artística. Podem ser utilizados diversos adesivos, como é o caso do silicone, do epóxi e da resina UV.
- **Bisotagem** – É um tratamento de bordas do vidro para que não causem ferimentos e para que ganhem maior resistência, evitando o surgimento de trincas. Na verdade o efeito não é produzido através do corte, mas sim pela lapidação e polimento da superfície do vidro por meios de máquinas especiais e rebolos diamantados.

## b) Vidro quente

Schuartz (2002) afirma que as técnicas de vidro quente são aquelas onde há o aquecimento de vidro. Podem-se dividir em baixas temperaturas e altas temperaturas. Nos processos de baixas temperaturas trabalham com o vidro entre 450 e 950°C e as altas trabalham entre 950 e 1600°C. Cada uma destas técnicas utiliza um tipo de forno específico. Para trabalhos em baixas temperaturas empregam-se técnicas como o *slumping*, o *fusing*, o *casting*, o *draping*, o *patê de verre* e a *tocha*, enquanto para o trabalho em altas temperaturas tem-se o sopro em cana.

- **Slumping** – É um processo que visa dar uma determinada forma ao vidro mediante o aumento da temperatura, sem nunca atingir o estado fluido. Esta técnica é fundamentada na capacidade de deformação do vidro sob o seu próprio

peso, ou seja, pela ação da gravidade, adaptando-se à superfície do molde. As técnicas de termoformado ou termoformação (*slumping*) permitem que o vidro adquira a forma desejada mediante o recurso a moldes utilizados de acordo com os efeitos pretendidos, podendo estes ser executados em diferentes materiais, e servem para elaborar objetos volumétricos ou com relevos e texturas (BEVERIDGE et al., 2004).

- **Fusing** – Segundo Fernandes (2004), *fusing* consiste no processo de fusão de uma ou mais chapas de vidro acomodadas sobre um molde e fundidas, em média, a 800°C. Esta técnica é muito utilizada em ateliês, por artistas e artesãos. Além dos variados formatos, os produtos obtidos pelo *fusing* podem ter inúmeras variações decorrentes do uso de chapas de vidro de diferentes espessuras, cores e acabamentos.
- **Casting** – Neste processo, também chamado de Vidro Vertido, um ou mais pedaços de vidro perdem totalmente sua forma inicial, soldando-se um ao outro formando, assim, um trabalho maciço. Dependendo da qualidade do vidro, as marcas da solda podem aparecer mais ou menos e até desaparecer (BEVERIDGE et al., 2004).
- **Draping** – O processo consiste na técnica baseada na deformação que o vidro sofre quando aquecido, provocando a queda pelo seu próprio peso, chamado de queda livre.
- **Pasta de vidro** – Consiste em colocar o vidro finamente triturado em pasta (misturado com água ou com uma solução de cola) dentro de um molde.
- **Tocha (Maçarico)** - Trata-se do aquecimento de bastões de vidro, maciços ou ocos, através de um maçarico a gás.
- **Sopro em cana** – Segundo Fernandes (2004), o processo de sopro é predominantemente utilizado na produção industrial. Artesanalmente é um processo milenar de difícil execução que consiste na colocação de massa vítrea na extremidade de uma haste metálica e subsequente sopro na outra extremidade. Por ser de difícil execução, requer anos de treino e experiência dos operadores necessitando, assim, de mão de obra especializada.

### c) Moldes para fabricação artesanal

Para que os vidros adquiram formatos bi ou tridimensionais pode-se recorrer aos moldes. Estes, por sua vez, se comportam como formas que, com o aquecimento do vidro, permitem a acomodação sobre os mesmos.

Técnicas de execução de moldes em gesso e modelagem em cerâmica permitem criar formas exclusivas para conformação dos objetos em vidro, cuja qualidade dependerá ainda de uma boa capacidade de síntese de valores de uso, de existência e de comercialização, inerente a um bom desenho de produtos (VILLELA, 2007).

Assim, formatos mais abertos, tendendo à horizontal — a exemplo de pratos, cumbucas e telhas —, obtêm melhores resultados na técnica. Para permitir o descolamento das peças produzidas, as formas devem estar livres de reentrâncias que travariam mecanicamente as peças dentro delas, levando à perda e quebra de peças e de moldes (VILLELA, 2007).

Quando confeccionada em gesso, o molde será perdido: apesar de permitir conformar o vidro, é quebrada na queima. Moldes confeccionados em cerâmica, que resistem às altas temperaturas do forno, são reaproveitáveis e permitirão realizar reproduções do objeto (Beveridge et al. 2004).

Segundo Schuartz (2002), os moldes para vidro podem ser principalmente de biscoito de cerâmica, gesso, feldspato e quartzo, *wet felt* (manta molhada), grafite, placa de fibra cerâmica, aço, ferro, concreto celular, gesso e manta de fibra cerâmica.

- **Biscoito de cerâmica** – são moldes em barro, permanentes e rígidos. Quanto mais são utilizados, mais duros e resistentes ficam. Neste tipo de molde é fundamental manter um ângulo de saída, pois qualquer reentrância irá travar o objeto no mesmo.
- **Gesso, quartzo e feldspato** – trata-se de uma mistura, em partes iguais, de gesso, quartzo e feldspato. É um molde descartável e se desmancha ao desenformar quando trabalhado acima de 950°C. Ideal para esculturas e trabalhos muito detalhados.
- **Wet felt** – é uma manta umedecida que pode ser moldada e, ao secar, endurece. É um molde permanente e rígido, um material extremamente versátil e de fácil utilização, porém dificilmente é encontrado no Brasil.

- **Grafite** – trata-se de um molde que possui maior aplicação na indústria devido ao seu alto custo. É um material extremamente resistente e permanente, adquirido em blocos que podem ser torneados.
- **Placa de fibra cerâmica** – são placas recortáveis, ideais para moldes geométricos retos. São moldes permanentes que se desgastam em aproximadamente 20 queimas.
- **Aço** – são moldes feitos em chapas de aço repuxadas que dão origem a um molde permanente, porém sem muitos detalhes devido à técnica de repuxo.
- **Ferro** – são moldes bastante similares aos de aço, porém indicados para temperaturas inferiores.
- **Concreto celular** – é um molde de fácil fabricação, baixo custo e fabricação artesanal. Através de ferramentas especializadas, o bloco é esculpido ou escavado, porém não resiste a mais de 10 queimas.
- **Gesso** – é um molde feito em gesso preparado com a adição de água e, em seguida, ressecado. Possui as mesmas propriedades que o molde de gesso, quartzo e feldspato, porém trinca a partir de 700°C.
- **Manta de fibra cerâmica** – trata-se do mesmo material da placa de fibra cerâmica, porém mais fácil de trabalhar. O resultado de um revestimento de manta é uma superfície rugosa, que pode ser suavizado polvilhando o pó de caulim por sobre a mesma.

### 2.1.6 Desvitrificação

A Desvitrificação, ou cristalização, ocorre quando a superfície do vidro se torna parcialmente cristalina. Pode ser um processo natural dos materiais siliciosos, no qual, conforme o vidro vai absorvendo a umidade da atmosfera ou de um ambiente submerso, ocorre a cristalização da sua superfície, tornando esta hidratada no decurso dos tempos e, por isso, eventualmente, desvitrificada. Como resultado tem-se um vidro com aparência congelada ou enevoadada, e iridescente (SCHUARTZ, 2002).

A Desvitrificação também pode ocorrer durante o processo de aquecimento do vidro, no qual temperaturas acima de 700°C, mantidas por muito tempo (resfriamento lento), podem ocasionar a cristalização da superfície. A cristalização

pode ser definida como a formação de uma fase sólida, com uma ordenação geométrica regular, a partir de uma fase estruturalmente desordenada. Esta mudança de fase requer uma diminuição da energia livre do sistema para que o processo seja espontâneo. Considerando-se que o vidro está num estado metaestável, a cristalização ocorrerá no sentido de alcançar o equilíbrio.

## 2.2 RECICLAGEM

Mano et al. (2009) definem a reciclagem como todas as ações que tenham como objetivo permitir a reutilização de materiais e/ou produtos, de modo a estender seu ciclo de vida e diminuir os problemas com a forma de disposição dos resíduos ou de emissão de poluentes.

Segundo dados do *Population Reference Bureau* (PRB, 2004) o aumento da população mundial é atualmente de mais de 79 milhões de pessoas por ano. Esse ritmo de aumento populacional põe em perigo o desenvolvimento econômico e social e repercute no meio ambiente com o aumento do lixo e a desenfreada exploração dos recursos naturais. A reversão desse processo passa pela formação de uma mentalidade que definitivamente posicione o ser humano como parte integrante e dependente dos recursos do planeta. Isto pode ser atingido por meio da adoção de políticas de desenvolvimento sustentável, atendendo às carências dos seres humanos sem, entretanto, sacrificar o capital natural da Terra.

A reciclagem, na opinião de Marques (2008), possui todas as características de um negócio lucrativo, com reflexos na realização de um bem comum, utilização de mão de obra amplamente abrangente, ou seja, desde aquela sem qualificação até a de formação acadêmica mais graduada, além de incentivar a cooperação da comunidade. Estes procedimentos são formas de praticar a cidadania, pois de um lado incentivam uma cooperação associativa das comunidades de maneira harmoniosa e, de outro, conscientiza o cidadão de que é de sua inteira responsabilidade preservar o meio ambiente em que vive de forma sustentável.

A reciclagem de produtos em fim de vida, pós-consumo, é uma atividade complexa em termos técnicos e econômico-sociais, além de nem sempre ser uma solução sem riscos ambientais, apesar de ser altamente difundida dentre as propostas de desenvolvimento sustentável, podendo citar como exemplo os centros de triagem que, em raras vezes, reciclam produtos eletroeletrônicos, pois seu foco está voltado para produtos como garrafas, sacolas plásticas, em razão da facilidade de separação quando relacionada a outros produtos (MARQUES, 2008).

Conforme Armelline (2004), embora os resíduos de vidro não sejam o lixo mais incômodo, sob o ponto de vista da toxicidade, ele assusta pelo seu volume crescente e requer soluções. Estes são lançados de maneira aleatória e irregular na beira de estradas, em terrenos ou nos lixões das cidades podendo provocar

ferimentos e doenças nas pessoas que os manipulam. Essa disposição inadequada acarreta uma série de problemas para a população que retira dos lixões e aterros o seu sustento. Os “cacos de vidro” apresentam um perigo à saúde das pessoas uma vez que podem provocar cortes profundos, ou seja, uma porta de entrada de microorganismos patogênicos presentes no local.

Segundo Lima (2005), o nível de reciclagem é determinado pela produção da matéria reciclável em proporção ao total de matéria virgem utilizada no processo industrial. O Brasil produz, em média, 800 mil toneladas de embalagens de vidro por ano. E dessas, cerca de 30% são produzidas a partir de sucata de vidro (cacos). A estimativa do nível de reciclagem do vidro no Brasil é de 47%. Sabe-se hoje que um quilo de vidro usado pode produzir um quilo de vidro novo, tantas vezes quantas forem necessárias. No processo de reciclagem do vidro há economia de matérias primas naturais, de energia, sendo a temperatura necessária para fusão do vidro reciclado mais baixa, e menor geração de poluentes. Atualmente, a maior parte da reciclagem do vidro para produção de novos produtos se dá de forma industrial.

A reciclagem do vidro ocorre sem perda de volume ou das propriedades. O emprego de um terço de cacos de vidro na mistura resulta em 20% de economia de energia, pois esse material recuperado necessita de menos calor para fundir que os minerais *in natura*. Assim, a fabricação de novos vidros a partir dos cacos economiza a energia gasta na extração, no beneficiamento, no transporte dos minérios não utilizados e na própria transformação. A economia de energia é a principal vantagem do processo de reciclagem do vidro (MANO et al., 2009).

O problema do descarte do lixo está diretamente relacionado ao aumento crescente de sua produção e à falta de locais adequados para seu armazenamento. A vigorosa industrialização do mundo moderno e a incorporação de novos hábitos de consumo da sociedade fizeram surgir os produtos eletro-eletrônicos. São gerados cada vez mais resíduos, principalmente o chamado lixo eletrônico, constituído pelos televisores, computadores, celulares, máquinas de lavar, fotocopiadoras, entre outros em desuso (CARVALHO, 2010).

O gerenciamento da destinação desses resíduos é um conjunto de ações normativas, operacionais, financeiras e de planejamento para a disposição do lixo de forma ambientalmente segura, utilizando tecnologias compatíveis com a realidade local.

Segundo Cândido (2008), para atingir o objetivo de proteção ao meio ambiente, é preciso por em prática a desejável política dos 3R's, que significa **Reduzir, Reutilizar e Reciclar**, e não continuar produzindo e gerando mais resíduos, deixando sem solução adequada seu tratamento e disposição.

- **Reduzir** significa consumir menos produtos, preferir aqueles que ofereçam menor percentual de geração de resíduos e que tenha maior durabilidade.
- **Reutilizar** é usar novamente as embalagens. Exemplo: os potes plásticos de sorvetes servem para guardar alimentos ou outros materiais.
- **Reciclar** envolve a transformação dos materiais, por exemplo, fabricar um produto novo a partir de um material já usado.

De acordo com Mano et al. (2009), a última opção para diminuir a grande quantidade de material refugado é **Reciclar**. Na reciclagem, o que se aproveita é o material para ser transformado em uma nova peça ou para recuperar energia, fazendo retornar ao ciclo produtivo parte das matérias-primas ou da energia.

Assim, para garantir as condições de existência das futuras gerações, sem deixar de atender às necessidades das atuais, deve haver um compromisso entre os setores industriais e a sociedade em relação às práticas de produção e de consumo. Antes do descarte do lixo, deve-se avaliar o seu potencial de redução, reutilização e reciclagem; o meio ambiente se beneficiará caso seja seguida a sequência citada. O ideal seria reduzir o consumo, por uma mudança de atitude, evitando principalmente o desperdício; também é importante a redução das dimensões e do peso dos produtos consumidos. Depois, deve-se reutilizar a embalagem ao máximo e, por último, caso não seja possível executar esses dois princípios iniciais, reciclá-la.

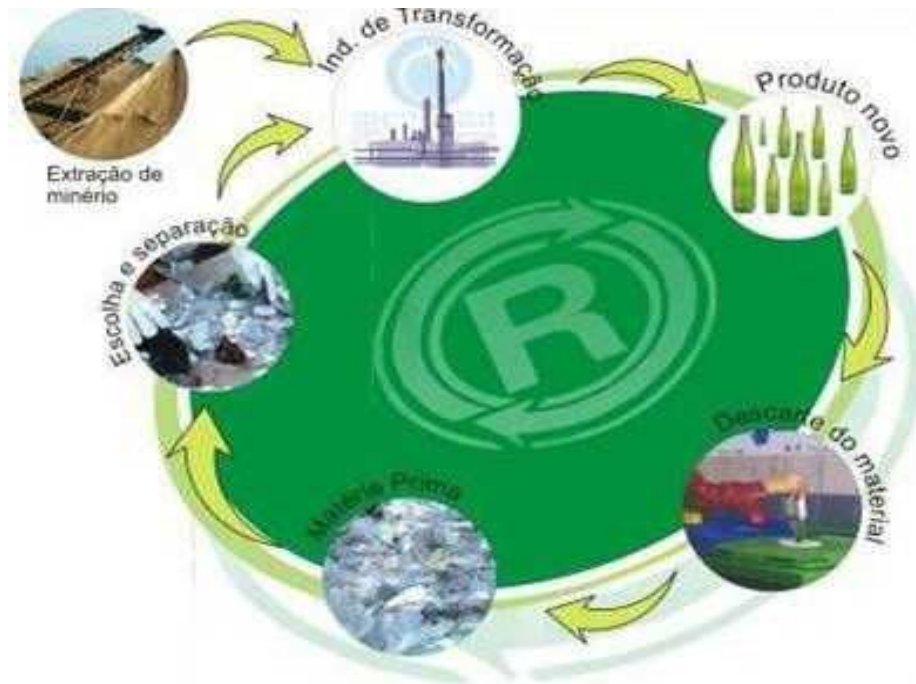
Segundo Fernandes (2004), o processo de reciclagem de vidro mais comum e mais conhecido consiste no aquecimento constante do vidro até que o mesmo se torne viscoso, possibilitando a produção de novos produtos.

Conforme dados da ABIVIDRO (2008), o ciclo de vida dos vidros de embalagens (Figura 2.2) consiste primeiramente na fabricação destas por meio das indústrias vidreiras que utilizam as matérias primas necessárias. Em seguida elas passam pelo processo de envasamento, onde o conteúdo das embalagens é introduzido. Após esta etapa, os produtos são embalados e distribuídos para os consumidores. Posteriormente, há o descarte das embalagens, que são coletadas, limpas e selecionadas para poderem ser trituradas. Depois de trituradas, as



embalagens de vidro entram no processo de fabricação pelas indústrias e todo o ciclo é repetido.

**Figura 2.2 – Ciclo de vida do vidro**



Fonte: ABIVIDRO, 2008

### 2.2.1 Sustentabilidade e Desenvolvimento Sustentável

A definição mais aceita para desenvolvimento sustentável é o desenvolvimento capaz de suprir as necessidades da geração atual, sem comprometer a capacidade de atender às necessidades das futuras gerações. É o desenvolvimento que não esgota os recursos para o futuro.

Essa definição surgiu na Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, criada pelas Nações Unidas para discutir e propor meios de harmonizar dois objetivos: o desenvolvimento econômico e a conservação ambiental (WWF Brazil, 2009).

Os conceitos **Desenvolvimento Sustentável e Sustentabilidade** envolvem o crescimento econômico contínuo através do tempo, um crescimento benigno ao ambiente e que contemple, ao mesmo tempo, dimensões culturais e sociais. Existem várias tentativas de definir sustentabilidade, como a que segue:

“Sustentabilidade pode ser definida como sendo a utilização do nosso entorno físico de tal forma que suas funções vitais sejam indefinidamente preservadas” (WWF Brazil, 2009).

Já o conceito **Desenvolvimento Sustentável** foi utilizado pela primeira vez no documento Estratégia de Conservação Global (World Conservation Strategy), publicado pela World Conservation Union, em 1980. Foi, porém, a partir da publicação do Relatório “Nosso Futuro Comum”, em 1987, também conhecido como Relatório Bruntland, que o termo passou a ser mundialmente conhecido. De acordo com este:

O Desenvolvimento Sustentável é aquele que “atende às necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de gerações futuras atenderem às suas próprias necessidades” (World Commission on Environment and Development, 1987).

A Agenda 21, documento operacional da Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento – Rio 92, define desenvolvimento sustentável como sendo:

“Um desenvolvimento com vistas a uma ordem econômica internacional mais justa, incorporando as mais recentes preocupações ambientais, sociais, culturais e econômicas.”

O ritmo de consumo dos recursos naturais disponíveis supera a capacidade de recuperação da Terra e da qualidade de vida no planeta em que vivemos (CANDIDO, 2008).

Deve-se procurar comprar somente produtos que realmente são necessários, de boa qualidade e que não agridam a natureza, desde a fabricação até o descarte. Deve-se reduzir desperdício, reutilizar, compartilhar, repassar e reciclar. Prestigiar empresas com responsabilidade ambiental e social.

Adotar um estilo de vida mais simples, evitando supérfluos é uma opção consciente. O desenvolvimento sustentável é o desenvolvimento que não esgota os recursos para o futuro (ACOSTA, 2008).

Atualmente uma das maiores preocupações do mundo inteiro é a destinação adequada do lixo domiciliar, produzido diariamente pela população urbana em quantidades crescentes, preocupação esta vinculada diretamente à preservação do meio ambiente (SCHNEIDER, 2010).

Conforme Gregolin (2006), a defesa do meio ambiente tem sido tema largamente divulgado nos últimos anos por governos, grupos ecológicos, técnicos e cidadãos comuns, sendo um assunto muitas vezes encarado como mais um modismo.

Aplicações práticas resultantes desta postura de defesa da natureza são uma realidade nos dias atuais. Melhor que isso, pode-se aliar proteção do meio ambiente a resultados econômicos, sociais, ecológicos e de economia de recursos naturais, através de uma destinação adequada do lixo urbano, ou seja, do aproveitamento da parte orgânica do lixo para a produção de composto orgânico de boa qualidade, e do reaproveitamento dos resíduos sólidos inorgânicos através de reciclagem de materiais, que se mostram fontes inesgotáveis de energia (GREGOLIN, 2006).

#### 2.2.1.1 Tecnologia Social

De acordo com Neto (2012), Há necessidade de classificar as tecnologias, com base nos seus processos específicos de *socialização*, sobretudo com respeito às relações de pertinência nas diferentes comunidades, que gozam de oportunidades diferenciadas, e participam de modo assimétrico na distribuição do poder social. Portanto, tecnologia não pode ser um conceito neutro, pois gera conflitos de interesse e implicações diferentes sobre grupos sociais distintos. Isto não implica a adoção de uma atitude radical, de aceitação pacífica ou de oposição ingênua às novas tecnologias, mas a necessidade de realização de um esforço de antecipação das suas implicações, oportunidades e alternativas, tanto para relações sociais e econômicas, quanto para o meio ambiente, (NETO, 2012).

Novas possibilidades são ensejadas pelo desenvolvimento científico e tecnológico, que envolvem questões éticas, algumas ainda não resolvidas, como por exemplo, a de manipulação da vida pela Engenharia Genética e pela Biotecnologia, ou a destruição, pela produção de artefatos bélicos cada vez mais poderosos, além de opções tecnológicas que aumentam a exclusão de contingentes ainda maiores de indivíduos. O “progresso técnico” tem motivado a criação de novos bens e serviços, não para satisfazer às necessidades humanas, mas para criar demandas antes inexistentes. A perspectiva de desenvolvimento continuado também se impõe para garantir condições de vida adequadas às gerações futuras. (NETO, 2012).

## 2.3 RESÍDUOS SÓLIDOS

O ser humano, ao longo de suas atividades, tem gerado grandes impactos ambientais, necessitando evidentemente repensar, sobretudo diante de tanto consumismo, a geração de grande quantidade de resíduos. Quando um material usado, como um carro, um jornal, um computador, alcança o fim do seu ciclo de vida, ele perde valor econômico e torna-se um resíduo (VEIT, 2008).

A Lei nº 12.305, que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos, define resíduos sólidos como: material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível.

Conforme a Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT NBR 10004:2004, os resíduos sólidos têm a seguinte definição:

**Resíduos sólidos:** Resíduos nos estados sólido e semissólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição.

De acordo com a norma da ABNT NBR 10004:2004 que considera os riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública, os resíduos sólidos classificam-se em:

- Resíduo Classe I – Perigosos

Aqueles que apresentam periculosidade (característica dos resíduos que em função de suas propriedades físicas, químicas ou infectocontagiosas podem apresentar risco à saúde pública, provocando mortalidade, incidência de doenças ou riscos ao meio ambiente, quando o resíduo for gerenciado de forma inadequada), inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade.

- Resíduos Classe II – Não Perigosos.

- Resíduos Classe II A – Não-Inertes.

Aqueles que não se enquadram na classificação de resíduos Classe I – Perigosos ou de resíduos Classe II B – Inertes, nos termos da norma. Os resíduos Classe II A podem ter propriedades tais como combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade em água. São basicamente os resíduos com as características do lixo doméstico.

➤ Resíduos Classe II B – Inertes.

Quaisquer resíduos que, quando amostrados de uma forma representativa, segundo a ABNT NBR 10007:2004, e submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou deionizada à temperatura ambiente, conforme a ABNT NBR 10006:2004, não tiveram nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade da água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor. Isto significa que a água permanecerá potável quando em contato com o resíduo. Muitos destes resíduos são recicláveis. Estes resíduos não se degradam ou não se decompõem quando dispostos no solo (se degradam lentamente).

### **2.3.1 Lixo Eletrônico**

Lixo eletrônico é a denominação genérica para todo tipo de descarte de equipamento eletroeletrônico. Com o aumento contínuo na produção e consumo de eletrônicos, a quantidade desse tipo de lixo gerado a cada ano torna-se um problema cada vez maior. O lixo eletrônico não pode ser descartado junto com o lixo comum, pois o grande número de elementos tóxicos pode contaminar o meio ambiente. Além disso, qualquer eletrônico é por definição um objeto recheado de conhecimento aplicado e, muitas vezes, descartá-lo é desperdiçar esse conhecimento (FERREIRA, 2008).

A utilização da tecnologia em prol da agilidade nas atividades e processos proporciona melhoria de vida ao homem; no entanto, a aquisição e o descarte inconsciente e/ou incorretos destes aparelhos eletroeletrônicos causam sérios danos ao meio ambiente. Sendo a informática subsídio às demais áreas na obtenção do conhecimento, é necessária uma conscientização acerca da fabricação, aquisição e melhores formas de descarte de aparelhos eletroeletrônicos, buscando evitar a poluição denominada eletrônica ou, ainda, sucata eletrônica (FERREIRA, 2008).

O problema do lixo eletrônico começa com a produção e o consumo. Com o auxílio da mídia especializada, a indústria de eletroeletrônicos se esforça para criar a ilusão de obsolescência - convencer as pessoas de que precisam trocar seus computadores, celulares, câmeras e outros equipamentos em períodos cada vez mais curtos. Além disso, a indústria também adota práticas predatórias no processo produtivo - mão de obra precária, uso de matérias primas extraídas sem levar em conta os impactos sociais e ambientais, entre outras (ROSA, 2007).

De acordo com o Greenpeace, o lixo eletrônico já cresce a um ritmo três vezes mais rápido que o lixo convencional e com um agravante: em cada computador ou celular descartado de forma incorreta, até 30 diferentes metais pesados como mercúrio, chumbo, cádmio e cromo, podem chegar ao solo, contaminar lençóis freáticos e, pouco a pouco, animais e seres humanos.

De acordo com dados do Centro de Tecnologia de Informação Aplicada da Fundação Getúlio Vargas (FGV), a expectativa é de que o Brasil tenha 100 milhões de computadores até 2012, o equivalente a um PC (*Personal Computer*) para cada dois habitantes. Em 2007, quando o país contava com 38 milhões de máquinas, a relação era de apenas um PC para cada cinco brasileiros.

A todo o momento surgem computadores mais velozes, telefones cada vez menores, equipamentos de multimídia com maior capacidade de armazenagem e outras tecnologias. Tudo isso seria maravilhoso se o destino de grande parte dos equipamentos ultrapassados não fosse o meio ambiente (GONÇALVES, 2007).

Esse desconforto pode ser evitado através de uma reciclagem tecnológica, que consiste em transformar equipamentos obsoletos para determinadas tarefas em tecnologia capaz de solucionar diversos problemas.

“É justamente o ritmo rápido de descarte gerado por esse tipo de material que exige a conscientização e a adoção rápida de medidas”, diz Carvalho (2010). Entre outras coisas, ele se refere ao conceito de obsolescência planejada, a partir da qual os produtos eletroeletrônicos são desenhados para ter uma vida útil cada vez mais curta por meio do estímulo ao consumo de pequenas inovações incrementais, que muitas vezes não fazem diferença no uso que as pessoas fazem de seus computadores.

Ainda segundo Carvalho (2010), boa parte dos subprodutos gerados pelo descarte eletrônico pode ser implementada novamente no ciclo produtivo. Cerca de 94% dos componentes dos computadores podem ser reciclados a partir do

desmonte e da segregação dos componentes principais. Os 6% não recicláveis correspondem a componentes que contêm uma grande junção de materiais de natureza química e física bastante diversa, o que dificulta o reaproveitamento.

A reciclagem dos eletroeletrônicos, por exemplo, pode reduzir a necessidade pela extração de materiais virgens como ferro, alumínio, combustíveis ou metais preciosos como ouro ou prata, bem como ingredientes tóxicos indispensáveis para a produção da maioria dos componentes elétricos presentes nesses produtos. Dentre estes, metais pesados como cádmio, mercúrio, chumbo e bromato, que deixam resíduos letais no corpo, no solo e em cursos de água. “Os eletrônicos não foram desenhados para serem reciclados e só a separação dos materiais já é cara. Hoje, nem o Brasil nem a América Latina têm estrutura para reciclar todo seu lixo eletrônico”, diz Rosa (2007).

A Lei que trata de recolhimento de material eletrônico no Brasil é a Resolução 257, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), de 1999, que atribui aos fabricantes ou importadores de pilhas e baterias a responsabilidade por sua disposição final, em função do perigo e dos níveis de metais tóxicos que eles apresentam. A Lei nº 12.305 da Política Nacional de Resíduos Sólidos no Brasil, no artigo 33, diz que: É obrigado estruturar e implementar sistemas de logística reversa, mediante retorno dos produtos após o uso pelo consumidor, de forma independente do serviço público de limpeza urbana e de manejo dos resíduos sólidos, os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes de produtos eletroeletrônicos e seus componentes.

## 2.4 EVOLUÇÃO DOS MONITORES DE COMPUTADOR

Os monitores de computador emprestaram a tecnologia dos tubos de imagem utilizados nas televisões, porém depois de seu surgimento e atualmente com as possibilidades de uso do computador também como televisão, a demanda e troca por novos modelos é mais rápida e barata (DIAS et al., 2010). A Figura 2.3 apresenta a evolução dos modelos de monitores de computadores.

**Figura 2.3 – Evolução dos modelos de monitores de computadores**



**Fonte: Adaptado de Dias, 2010**

Com o passar do tempo, muitas tecnologias foram substituídas nos mais diversos setores da sociedade. Em alguns casos as mudanças foram graduais, em outros, as substituições se deram de forma radical e nem sempre com a apresentação dos resultados teóricos esperados. Estima-se que novas tecnologias como OLED (Organic Light Emitting Diode) ou Diodo Orgânico Emissor de Luz, virão em poucos anos para substituir os monitores de Plasma e LCD; Os OLEDs prometem telas planas muito mais finas, leves e baratas que os atuais LCD (DIAS et al., 2010).

Estes diodos orgânicos são compostos por moléculas de carbono que emitem luz ao receberem uma carga elétrica. Estas moléculas podem ser aplicadas diretamente sobre a superfície da tela, usando algum método de impressão. Logo em seguida são acrescentados filamentos metálicos que conduzem os pulsos



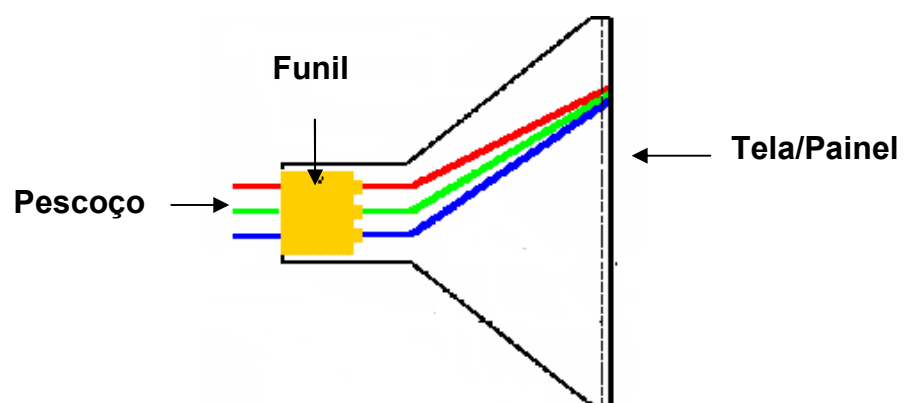
elétricos a cada célula a um baixo custo. Este tipo de tela poderá ser produzido até mesmo usando uma impressora jato de tinta, equipada com as tintas corretas. Com esta técnica podem-se produzir telas de baixa densidade, como as usadas nos aparelhos de som automotivos, celulares, e-papers, e-books, leitores descartáveis ou, ainda, a construção de telas mais elaboradas, capazes de concorrer com os monitores LCD. São telas muito simples e apresentam um custo baixo (DIAS et al., 2010).

#### 2.4.1 Tubos de Raios Catódicos – CRT

Conhecidos como cinescópios, os Tubos de Raios Catódicos ou popularmente “tubos de imagem” são identificados mundialmente pela sigla CRT (*Cathode Ray Tubes*) e integram os monitores de computadores e televisores. Normalmente são compostos por três partes: tela ou painel (parte da frente), funil e pescoço (parte de trás) (MÉAR et al., 2006). As composições dos vidros dos tubos de raios catódicos apresentam composições químicas completamente diferentes. (ANDREOLA et al., 2005).

A Figura 2.4 apresenta o Esquema do CRT do Monitor com suas respectivas partes.

**Figura 2.4 - Esquema do CRT do Monitor**



Fonte: Marron et al., 2008

Os tipos de vidros são definidos pela natureza e proporções dos óxidos metálicos empregados em sua composição. Elementos geralmente na forma de

óxido são responsáveis pelas propriedades dos vidros, tais como resistência à radiação, como no caso dos vidros dos tubos CRT (MEAR, 2006).

Andreola et al. (2005), em estudo de caso sobre reciclagem de vidro de CRT em esmalte cerâmico, diz que há uma diferença nas propriedades dos tubos de CRT preto e branco e os tubos CRT a cores e, para cada parte do tubo, são utilizadas diferentes composições de acordo com as solicitações a que o vidro é exigido como, por exemplo, no painel (parte frontal) ou tela o vidro é homogêneo, contém níveis elevados de bário (9 a 11%), para proteger contra a radiação, e estrôncio (8 a 10%), de cor azul-esverdeada e peso de aproximadamente 2/3 de todo o CRT.

O cone contém uma quantidade significativa de chumbo (18 a 26%), que é completamente ausente no painel. A razão de diferentes composições químicas deriva da evolução dos equipamentos. Nos últimos 25 anos as propriedades de um vidro de CRT colorido evoluíram, em particular, sobre a melhoria de brilho e contraste. Os CRTs a cores tornaram-se mais de 10 vezes mais brilhantes do que os primeiros modelos e duas vezes superiores aos equipamentos monocromáticos (TOCCI et al., 2007).

O aumento da tensão de aceleração provocou a necessidade de aumentar o conteúdo dos elementos de composição com habilidade de absorção de raios-X. No caso de vidro do funil e do pescoço, foi aumentado o conteúdo de óxido de chumbo, mas a mesma medida não foi tomada para painel de vidro, devido ao fenômeno de escurecimento (MENAD et al., 1999).

Com o aumento de tensão, intensifica-se o feixe de elétrons que irradia em um lugar específico da tela, resultante do efeito de escurecimento do painel de vidro, sendo o chumbo o mais fácil de ser reduzido no vidro, como resultado da aceleração causada pela geração de escurecimento. Consequentemente, composições de óxido de chumbo foram removidas do painel, embora inicialmente elas contivessem de 0,5 a 3% óxido de chumbo, porém a absorção de raios-X é mantida por adicionar maiores quantidades de bário, estrôncio e zircônio (ANDREOLA et al., 2007).

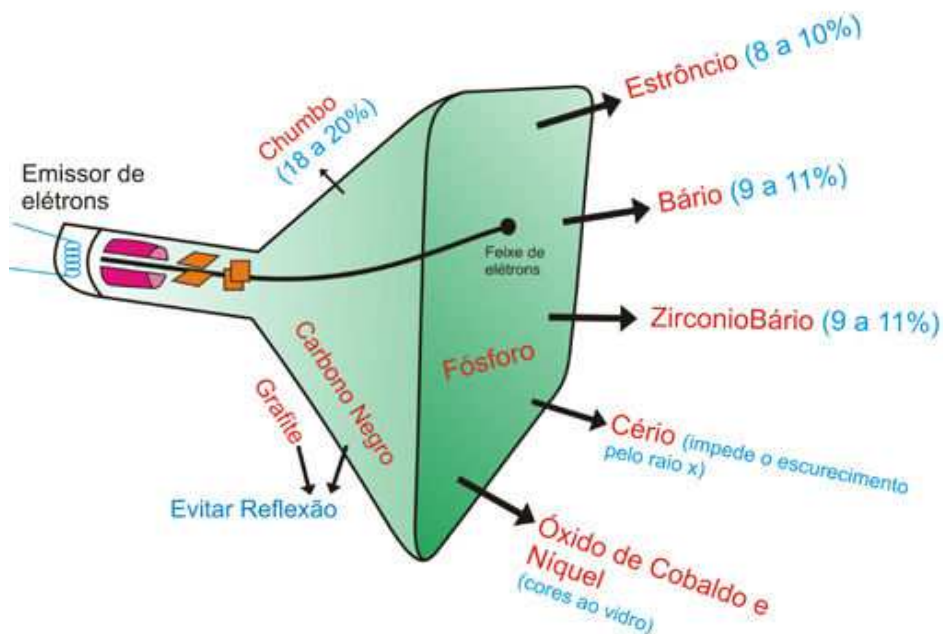
É comum na composição do painel de vidro encontrar mais de dois tipos de óxidos alcalinos, a fim de evitar a coloração. A presença de pequenas quantidades de cério na composição tem o efeito de impedir o escurecimento por raios-X, o antimônio está presente como agente para refinar e derreter, e evitar as bolhas no vidro. Além disso, a adição de ingredientes de titânio ao vidro tem o efeito de impedir solarização (efeito da luz solar) (ANDREOLA et al., 2007).

O painel de vidro é corado com óxidos de cobalto e níquel, a fim de dar transmissão correta à luz. O painel e o funil de vidro são revestidos com diferentes tipos de substâncias que contêm metais pesados e elementos perigosos. Alguns autores descrevem a presença de quatro camadas de revestimentos na superfície interior do painel de vidro (DONDI et al., 2009).

Na primeira camada de revestimento uma mistura de pasta de carbono e outros tensoativos produzem um carbono negro e listras claras. Três cores fluorescentes em pó (verde, azul e vermelho) formam a segunda camada. O terceiro é uma laca, aplicada para selar o pó fluorescente na superfície interior do painel de vidro. O revestimento final é um filme de alumínio utilizado para aumentar o brilho (DIAS et al., 2010).

Por outro lado, para o cone só dois revestimentos são identificados: um não-reflexivo preto grafite (rico em óxido de ferro) para a superfície e, na parte interna, uma pintura de carbono negro (DIAS et al., 2010). A Figura 2.5 apresenta o CRT e parte de sua composição.

**Figura 2.5 – CRT e parte de sua composição**



Fonte: Dias et al., 2010

O uso do estrôncio nas formas estáveis (não radioativas) não provocam efeitos adversos significativos à saúde; o bário é venenoso quando dissolvido em

água, sendo usado em medicina como contraste porque não se dissolve e por ser eliminado rapidamente pelo trato digestivo; o zircônio apresenta baixa toxicidade; o cério apresenta toxicidade de moderada a baixa, inflamável em contato com o ar; o cobalto apresenta riscos que provêm da inadequada manipulação ou manutenção das unidades de radioterapia; com relação ao níquel, não há problemas no contato com a pele, desde que obedeça os níveis permitidos (GONÇALVES, 2010).

Existem dois caminhos diferentes para a reciclagem do vidro do CRT: o circuito fechado de reciclagem e o circuito aberto de reciclagem (MOSTAGHEL et al., 2009). Existem várias aplicações com potencial para os vidros do CRT, no circuito fechado de reciclagem, os CRTs são utilizados para fabricação de novos CRTs, enquanto que no circuito aberto de reciclagem os CRTs são utilizados em tijolos e telhas, fabricação de cerâmica, na produção de espuma de vidro para isolamento e como material na fundição de metais, (MÉAR et al., 2006, ANDREOLA et al., 2007 e DONDI et al., 2009).

Os vidros que compõem os monitores de computador ou de televisão contêm elementos perigosos (chumbo, estrôncio e bário) e pesam entre 45% e 85% do peso total de um monitor (MÉAR et. al., 2006, ANDREOLA et. al., 2007 e DONDI et. al., 2009), tendo os resíduos destes vidros um grande potencial de reaproveitamento e de reciclagem.

Um monitor CRT contém aproximadamente de 1,8 a 4,5 kg de metais pesados com o chumbo e cádmio. A incineração de forma inadequada destes materiais pode contaminar o ar, o solo e as águas. A presença destes materiais sugere que estes equipamentos devam ser tratados de forma separada do lixo urbano comum e reciclados quando possível (GONÇALVES, 2010).

**CAPÍTULO III**  
**Metodologia**

---

### **3 METODOLOGIA**

#### **3.1 MATERIAIS UTILIZADOS**

Os principais materiais utilizados nesta pesquisa foram os resíduos vítreos provenientes dos tubos de raios catódicos de monitores de computadores, sendo estes retirados da tela (painel) e do funil, além de concreto celular, cerâmicas, gesso, quartzo e feldspato, estes utilizados na confecção dos moldes e o caulim usado como desmoldante.

##### **3.1.1 Resíduos Vítreos**

Os resíduos vítreos foram provenientes da tela e do funil dos monitores de computadores em desuso (Figura 3.1), oriundos da coleta seletiva realizada pela Cooperativa de Trabalhadores de Materiais Recicláveis - COTRAMARE, do município de Campina Grande/PB.

**Figura 3.1 – Monitores de computadores em desuso**



Fonte: Fotos da autora, 2010

##### **3.1.2 Concreto Celular**

O bloco de concreto celular é um produto constituído pela mistura de cal, cimento, areia, pó de alumínio e água (argamassa), adquirido no estado de São Paulo/SP, usado para os moldes, como mostrado na Figura 3.2.

**Figura 3.2 - Concreto Celular**



Fonte: Fotos da autora, 2010

### 3.1.3 Cerâmica

A cerâmica é fabricada com argila, material fácil de ser moldado que permite criar formas exclusivas e ricas em detalhes, como ilustra a Figura 3.3.

**Figura 3.3 – Molde em Cerâmica**



Fonte: Fotos da autora, 2011

Os moldes de cerâmica utilizados neste trabalho foram adquiridos no comércio local de Campina grande/PB, alguidares, telhas, pratos, entre outros.

### 3.1.4 Caulim

O caulim utilizado neste trabalho de pesquisa foi adquirido no comércio local, tendo como função o isolamento e recobrimento dos moldes, facilitando o processo de desmoldagem das peças produzidas, de acordo com a Figura 3.4.

**Figura 3.4 – Uso do caulim como desmoldante em moldes em concreto celular e cerâmicos**



Fonte: Fotos da autora, 2011

### **3.1.5 Gesso**

O gesso foi adquirido no comércio local em casas de materiais de construção. Utilizou-se sulfato de cálcio semi-hidratado,  $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ , comumente chamado de gesso. Na reação do gesso com água, há a formação de cristais de sulfato de cálcio dihidratado ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), que precipitam quando a solução fica supersaturada, levando ao ganho de resistência mecânica da pasta, em um processo extremamente rápido de pega.

### **3.1.6 Quartzo**

O quartzo utilizado na confecção dos moldes foi proveniente do município de Parelhas/RN. O quartzo possui um elevado ponto de fusão e garante a integridade estrutural da peça durante a queima, funcionando como principal controlador do coeficiente de variação térmica do produto, diminuindo a deformação na secagem/queima.

### **3.1.7 Feldspato**

O feldspato utilizado na confecção dos moldes foi proveniente do município de Parelhas/RN. Os feldspatos são conhecidos como minerais fundentes que têm a função de diminuir a temperatura de formação de fase líquida durante a etapa de queima, aumentar a resistência mecânica e abaixar a porosidade, mas isto só ocorre



em temperaturas próximas de 1.200 °C, principalmente se o feldspato for rico em K<sub>2</sub>O.

### 3.2 EQUIPAMENTOS E FERRAMENTAS UTILIZADAS

Os equipamentos e ferramentas utilizadas estão dispostos na Tabela 3.1.

**Tabela 3.1 - Equipamentos e ferramentas utilizadas no trabalho de pesquisa**





EQUIPAMENTOS E FERRAMENTAS	UTILIDADE	ILUSTRAÇÃO
Almofariz com pistilo	Instrumento utilizado na trituração dos vidros.	
Cortadores de vidros	Efetua o corte no vidro mediante um pequeno disco de diamante.	
Pincel	Utilizado tanto na aplicação do caulim como nos moldes.	
Escova	Utilizada para recolher pequenos fragmentos de vidros e auxiliar na limpeza dos vidros reciclados.	
Cinzel ou formão	Usado para desbastar os moldes das peças.	
Alicate	Utilizado com ferramenta auxiliar para abrir cortes e partir o vidro.	
Serra	Utilizada para separar e cortar vidros.	
Furadeiras	Utilizada para furar, lixar e polir as peças vítreas.	
Mini-retífica tipo DREMEL	Utilizado para pequenos acabamentos, tais como lixar, esmerilhar, furar e polir.	
Peneiras	Servem para separar o vidro de acordo com a granulometria desejada.	

Fonte: Elaborada pela autora, 2011

### 3.3 EQUIPAMENTOS DE PROTEÇÃO INDIVIDUAL - EPI

A segurança constitui um aspecto importante no trabalho com vidros. Para tanto, a proteção pessoal revela-se um aspecto fundamental. Todo o manuseio com vidros foi realizado com uso de equipamentos de proteção individual (EPI) de segurança, listados na Tabela 3.2.

**Tabela 3.2 - Equipamentos de proteção individual - EPI**

EPI	UTILIDADE	ILUSTRAÇÃO
Óculos de proteção	Para proteção dos olhos, evitando estilhaçamentos que é muito comum no manuseio com vidros.	
Luvas	Para proteção das mãos e maior aderência com o vidro.	
Máscara contra pó	Para proteção do nariz evitando a respiração de pós finos.	
Protetor auricular	Para proteção dos ouvidos, evitando a poluição sonora causada por lixadeiras, e maquinas.	

Fonte: Elaborada pela autora, 2011

### 3.4 MÉTODOS

A metodologia utilizada nesta pesquisa está representada no Fluxograma da Figura 3.5.

**Figura 3.5 – Fluxograma das etapas da pesquisa**



Fonte: Elaborada pela autora, 2011

#### 3.4.1 Desmontagem do Monitor para Retirar o Tubo de Raios Catódicos

Os monitores foram desmontados adequadamente com uso de equipamentos de proteção individual – EPI, esta etapa foi realizada sob orientação de um técnico em eletrônica, conforme ilustração da Figura 3.6

**Figura 3.6 – Desmontagem do monitor**



Fonte: Fotos da autora, 2011

### **3.4.2 Beneficiamento dos Resíduos Vítreos**

Os resíduos vítreos oriundos de monitores de computador foram separados em duas partes: vidro da tela e do funil (Figura 3.7), pois os mesmos apresentam coloração, composição e espessuras diferentes. O vidro do funil tem espessura de 4mm, e o da tela apresenta espessura de 10mm, e tem peso de acordo com o tamanho dos CRT. O tubo de 14" tem um peso total de 10 Kg, sendo o peso da tela de 4,4 kg (44%) e peso do funil de 5,6 kg (56%), já o tubo de 20" tem um peso total de 14 kg, com peso da tela de 6,3 kg (45%) e o peso do funil de 7,7 kg (55%).

**Figura 3.7 – Vidro da tela e do funil do monitor**



Fonte: Fotos da autora, 2010

Os resíduos foram lavados para que fossem retiradas algumas impurezas aderidas ao resíduo vítreo, após a lavagem estes foram triturados manualmente em almofariz com pistilo, e passados em peneiras ABNT N° 200, para posterior caracterização (Figura 3.8). O material triturado foi passado em peneiras ABNT de N° 40 e 10, para ser utilizado no processo técnico Vidro Vertido.

**Figura 3.8 – Amostras peneiradas: (a) ABNT N° 200, (b) ABNT N° 40 e (c) ABNT N° 10**



Fonte: Fotos da autora, 2011

### 3.4.3 Caracterização dos Resíduos Vítreos

As técnicas de caracterização dos vidros do CRT foram realizadas com objetivo de melhor identificar suas propriedades estruturais, morfológicas, térmicas e espectroscópicas.

Toda a caracterização dos resíduos vítreos foi realizada no Laboratório de Caracterização de Materiais da Unidade Acadêmica de Engenharia de Materiais - UAEMa/CCT/UFCG.

Os equipamentos utilizados e as condições de operação adotadas estão descritos a seguir.

#### 3.4.3.1 Fluorescência de Raios-X (FRX)

As análises químicas dos vidros (painel e funil) foram realizadas por Fluorescência de Raios-X pelo método semiquantitativo, em forma de pó, sob atmosfera a vácuo, colimador 10 mm. O equipamento utilizado foi o modelo EDX-720 marca SHIMADZU.

### 3.4.3.2 Difração de Raios-X (DRX)

A análise de Difração de Raios-X foi realizada em um equipamento difratômetro de raios-X da SHIMADZU, modelo XRD-6000, com radiação de  $\text{CuK}\alpha$  e comprimento de onda  $\lambda=1,5406 \text{ \AA}$ , que opera a uma voltagem de 40KV com 30mA de corrente. A amostra em forma de pó (peneira ABNT N° 200) foi analisada em um intervalo de varredura de  $2\theta$ , entre 10 e 70 graus, a uma taxa de  $2^\circ.\text{min}^{-1}$ .

### 3.4.3.3 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

As medidas de microscopia eletrônica de varredura (MEV) foram realizadas com o intuito de verificar a homogeneidade e textura superficial dos vidros do CRT.

Os aspectos morfológicos dos pós foram analisados por meio de um microscópio eletrônico de varredura da marca SHIMADZU, modelo SSX-550. O procedimento de análise consistiu na preparação de aproximadamente 5 mg de amostra dispersa em 5 mL de acetona e homogeneizada manualmente. Com o auxílio de um conta-gotas, uma gota da amostra foi depositada sobre a superfície de um porta-amostra para evaporação da acetona. Em seguida, o porta-amostra contendo a amostra foi submetido a uma metalização, em uma metalizadora de marca SC-701 Quick Coater, para ser recoberto por uma fina camada de ouro, cujo objetivo foi proporcionar a condutividade elétrica necessária para a análise. As micrografias foram obtidas nas magnitudes de 2000, 1000, 5000 e 500 vezes.

### 3.4.3.4 Termogravimetria e Análise Térmica Diferencial (TG/DTA)

As curvas TG e DTA foram obtidas em uma termobalança, marca SHIMADZU, modelo DTG-60H – Simultaneous DTA-TGA Apparatus, em atmosfera de nitrogênio e de ar, com cadinho de alumina, fluxo de  $50\text{mL}.\text{min}^{-1}$ , e razão de aquecimento de  $10^\circ\text{C}.\text{min}^{-1}$ , numa faixa de temperatura que varia da ambiente até  $1000^\circ\text{C}$ . A massa utilizada foi de  $4.0 \pm 0.5$  gramas.

### 3.4.3.5 Espectroscopia na Região do Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR)

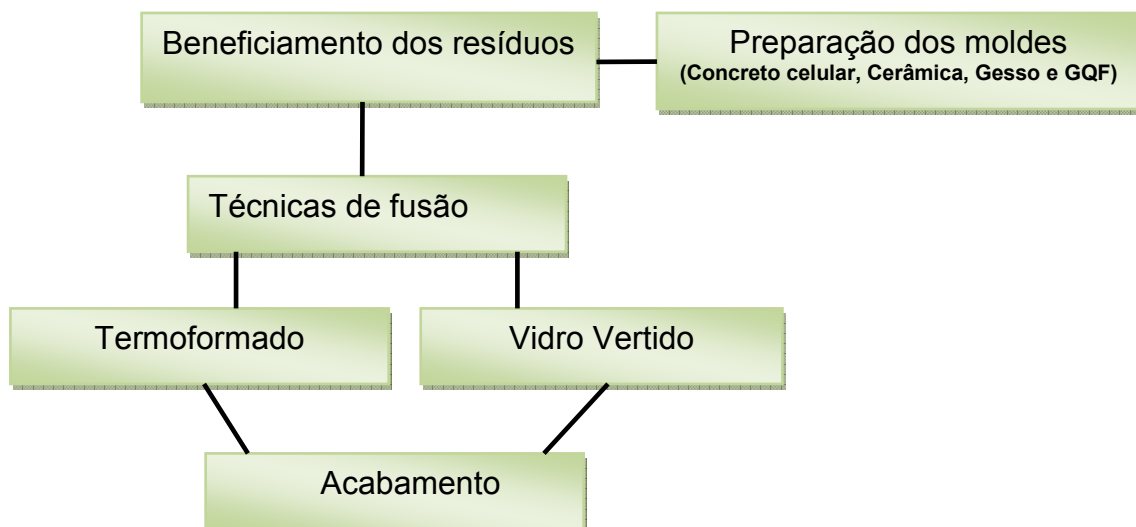
FTIR é uma das técnicas de caracterização mais comumente usada, a qual permite caracterizar uma larga faixa de compostos inorgânicos e orgânicos. Esta técnica baseia-se fundamentalmente na medida de absorção em frequências de infravermelho por uma amostra posicionada no caminho do feixe da radiação de comprimentos de ondas na faixa de 4000 e 400  $\text{cm}^{-1}$ , proporcionando a determinação de grupos funcionais contidos em um determinado material. Cada grupo funcional absorve em uma frequência característica no infravermelho. Portanto, um gráfico de intensidade da radiação versus frequência constitui a impressão digital dos grupos identificados na amostra.

As análises de FTIR realizadas neste trabalho foram obtidas em um analisador espectrômetro FTIR MAGNA 560 ESPS Nicolet.

### 3.4.4 Processos Técnicos de Reciclagem dos Resíduos Vítreos

O processo de reciclagem de vidros envolve algumas etapas que são fundamentais para a obtenção do resultado final do produto, que são: preparação dos moldes, processos técnicos e acabamento. A Figura 3.9 ilustra as etapas do processo para obtenção dos artefatos vítreos.

**Figura 3.9 – Fluxograma das Etapas do Processo de Reciclagem dos Vidros**



#### 3.4.4.1 Preparação dos Moldes

O molde consiste em um objeto com uma determinada forma, que permite conformar o vidro por meio de um processo de fusão. É possível utilizar como molde qualquer objeto que suporte a temperatura de trabalho utilizada na técnica (BEVERIDGE et al., 2004).

Os Moldes de Concreto Celular foram esculpidos no modelo e dimensões pretendidos conforme a Figura 3.10.

**Figura 3.10 - Moldes em concreto celular para acomodação das amostras**



Fonte: Fotos da autora, 2011

Os moldes GQF (Gesso, Quartzo, Feldspato e água) foram preparados a partir de uma barbotina com as seguintes proporções 1:1:1:1/2 em peso. Os componentes foram misturados manualmente por 10 minutos e a mistura foi vertida em moldes de plásticos. Após 24 horas, parte da água foi evaporada e os moldes foram queimados por 1 hora em temperatura de aproximadamente 900 °C (Figura 3.11).

**Figura 3.11 – Molde em GQF**



Fonte: Fotos da autora, 2011



Os moldes de gesso foram obtidos a partir de uma barbotina composta de água e gesso com proporções de 2:1 em peso. Os componentes foram misturados manualmente por 10 minutos e a mistura foi vertida em moldes de plástico. Após 24 horas, parte da água foi evaporada e os moldes foram queimados por 1 hora em temperatura de aproximadamente 600 °C (Figura 3.12). SCHUARTZ, (2002).

**Figura 3.12- Molde em Gesso**



Fonte: Fotos da autora, 2011

#### 3.4.4.2 Processo de Reciclagem do Vidro

Para reciclagem do vidro foram utilizados dois fornos elétricos, um da marca EDG, modelo FC-2 (Figura 3.13a) do Laboratório Caracterização de Materiais Professora Maria Claudia Silva, da Unidade Acadêmica de Engenharia de Materiais - UAEMa/CCT/UFCG, e outro da marca Linn, modelo Electro-Therm (Figura 3.13b) do Centro de Artes em Vidros – CAVI, Habilidades Manuais.

**Figura 3.13 - Fornos utilizados nos processos técnicos**



Fonte: Fotos da autora, 2012

### Determinação da Temperatura de Fusão do Resíduo Vítreo

Foram realizados diversos estudos para determinação da temperatura de fusão adequada aos resíduos vítreos do CRT, e analisaram-se os seguintes aspectos:

- Comportamento do vidro quando submetido às temperaturas de 700 °C, 750 °C, 800 °C, 850 °C e 900 °C.
- Interação entre os materiais dos moldes e o resíduo vítreo (conjunto) quanto à desmoldabilidade.
- Características visuais dos vidros após fusão e vitrificação.

Os estudos foram realizados à velocidade de aquecimento de 5°C.min<sup>-1</sup> e resfriamento de 1°C.min<sup>-1</sup>, com tempo de permanência de 120 minutos e abertura parcial do forno por cerca de 30 minutos (choque térmico) para evitar a desvitrificação.

A Tabela 3.3 apresenta as temperaturas estudadas para a técnica de termoformado dos resíduos vítreos provenientes dos monitores.

**Tabela 3.3 – Temperaturas estudadas pela técnica de Termoformado, por 120 minutos**




Temperatura (°C)	Observação visual
700	Não ocorreu a termoformação
750	Não ocorreu a termoformação
760	Processo se completa
770	Processo se completa
800	Deformação da amostra
850	Deformação da amostra
900	Deformação da amostra

Fonte: Elaborada pela autora, 2012

De acordo com a Tabela 3.3, foi possível observar que nas temperaturas de 700 °C e 750 °C não ocorreu a termoformação, ou seja, o resíduo vítreo não se molda ao modelo (a viscosidade é muito alta); nas temperaturas de 760 °C e 770 °C ocorre a termoformação e, para as demais temperaturas, o resíduo vítreo escoava não assumindo o modelo do molde (viscosidade muito baixa).

A Tabela 3.4 apresenta as temperaturas estudadas para a técnica de Vidro Vertido do resíduo vítreo proveniente dos monitores.

**Tabela 3.4 – Temperaturas estudadas pela técnica de Vidro Vertido, por 120 minutos**

Temperatura (°C)	Observação visual
700	Não ocorreu fusão
750	Início da fusão
800	Processo completo 
850	Cristalização 
900	Cristalização 

Fonte: Elaborada pela autora, 2012

Na Tabela 3.4 verifica-se que para a temperatura de 700 °C não ocorreu a fusão, para a temperatura de 750 °C houve um início da vitrificação; em 800 °C, houve um processo completo de vitrificação; nas temperaturas de 850 °C e 900 °C ocorreu a cristalização do vidro. Observou-se que a manutenção da temperatura de trabalho deverá ser prolongada em função da granulometria do vidro triturado.

### Técnicas de Fusão dos Vidros

- *Termoformado (Slumping)*

A termoformação do vidro, ou termoformado, é um processo que visa dar uma determinada forma ao vidro mediante o aumento da temperatura, sem nunca atingir o estado fluido. Esta técnica é fundamentada na capacidade de deformação do vidro sob o seu próprio peso, ou seja, pela ação da gravidade, adaptando-se à superfície do molde. As técnicas de termoformação permitem que o vidro adquira a forma desejada mediante utilização de recurso que s moldes utilizados de acordo com os efeitos pretendidos, podendo estes ser executados em diferentes materiais, e servir

para elaborar objetos volumétricos ou com relevos e texturas (BEVERIDGE et al., 2004).

Na técnica Termoformado não há necessidade de triturar o resíduo, ou seja, são utilizados pedaços inteiros (vidro plano) diretamente sobre o molde (Figura 3.14). O conjunto (vidro mais molde) é levado ao forno à temperatura de 760 °C e mantida nesta por duas horas, tempo suficiente para que o vidro adquira a forma do molde (BEVERIDGE et al., 2004).

**Figura 3.14 - Pedaço de vidro em molde**



Fonte: Fotos da autora, 2011

- *Vidro Vertido (Casting)*

Nesta técnica, o resíduo vítreo é triturado e colocado sobre o molde (Figura 3.15). O conjunto (vidro mais molde) é levado ao forno até a temperatura de 800 °C, pelo tempo de duas horas. Este é o tempo suficiente para que a fusão do vidro ocorra e ele adquira a forma do molde (BEVERIDGE et al., 2004).

**Figura 3.15 - Vidro triturado no molde**



Fonte: Fotos da autora, 2011

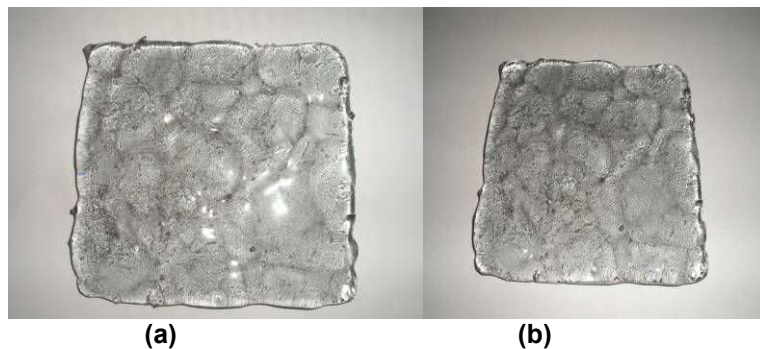
Nas técnicas de trabalho em forno elétrico, os objetos só são retirados do forno depois de resfriados para não trincarem com o choque térmico. Não ocorreu nenhum problema com relação ao desmolde dos objetos. No entanto, apresentaram um pouco de caulim, que pode ser removido durante o processo de acabamento. As técnicas de fusão utilizadas na reciclagem de vidros desta pesquisa foram termoformado (Slumping) e vidro vertido (Casting).

### Acabamento

O acabamento nos vidros é feito para corrigir algumas imperfeições indesejáveis proporcionando uma qualidade especial nos objetos fabricados. Dentre os possíveis acabamentos que o vidro pode receber, um dos mais utilizados é o que proporciona uma qualidade mais especial e tem como objetivo tornar as superfícies lisas e brilhantes (BEVERIDGE et al., 2004).

Os processos mais utilizados nos acabamentos de vidros são: lixamento, polimento e lavagem. A pastilha da Figura 3.16(a) apresenta alguns pedaços de vidros cortantes nas bordas, enquanto que a pastilha (b) foi lixada para retirar de tais fragmentos.

**Figura 3.16 – Pastilha de resíduo vítreo sem e com acabamento**



Fonte: Fotos da autora, 2012

**CAPÍTULO IV**  
**Resultados e Discussão**

---

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS VÍTREOS

Este capítulo trata dos resultados obtidos através das análises de Fluorescência de Raios-X, Difração de Raios-X, Microscopia Eletrônica de Varredura, Termogravimetria, Análise Térmica Diferencial, Espectroscopia na Região do Infravermelho com Transformada de Fourier, Avaliação dos Moldes e Análises dos Processos Técnicos de Reciclagem dos Vidros.

#### 4.1.1 Fluorescência de Raios-X (FRX)

Na análise de Fluorescência de Raios-X foram identificadas as composições químicas em percentual (%) de óxidos presentes nos vidros provenientes da tela e do funil dos monitores de computador.

Na Tabela 4.1 constam os resultados das composições químicas dos vidros da tela e do funil estudados.

**Tabela 4.1 - Composição Química de óxidos presentes nos vidros provenientes da tela e do funil do monitor**

ÓXIDOS	VIDRO TELA (%)	VIDRO FUNIL (%)
SiO <sub>2</sub>	59,89	48,63
BaO	10,75	0,35
SrO	7,71	0,28
K <sub>2</sub> O	6,92	7,96
Na <sub>2</sub> O	6,64	5,15
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,20	2,65
ZrO <sub>2</sub>	1,97	0,00
CaO	1,43	3,62
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1,28	0,00
Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,11	0,00
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,06	0,00
Rb <sub>2</sub> O	0,02	0,06
PbO	0,00	29,47
MgO	0,00	1,79
ZnO	0,00	0,02
CuO	0,00	0,02

Fonte: Elaborada pela autora, 2010

Pode-se observar na Tabela 4.1 que os vidros da tela e do funil analisados apresentam composições químicas diferentes. O óxido de silício ( $\text{SiO}_2$ ) é o componente em maior percentual nestes vidros (59,89% e 48,63% para tela e funil, respectivamente), sendo esse óxido o responsável por formar a rede vítrea.

O óxido de alumínio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) é estabilizante e usado para melhorar a resistência mecânica do vidro. Foi verificada a presença de 3,20% deste óxido no vidro de tela e 2,65% no vidro de funil. Os óxidos dos metais alcalinos e metais alcalinos terrosos, que são óxidos de sódio, de cálcio e de potássio também foram encontrados. Esses óxidos atuam como modificadores de rede e são responsáveis por romper a estrutura vítrea, diminuindo assim a viscosidade do vidro.

O vidro do funil apresentou 29,47% de óxido de chumbo ( $\text{PbO}$ ), sendo classificado como vidro de chumbo. Este óxido é usado na composição destes vidros com o objetivo de absorver os raios ultravioleta e raios-X que são produzidos pelo canhão de elétrons que fica na parte traseira do tubo de raio catódico.

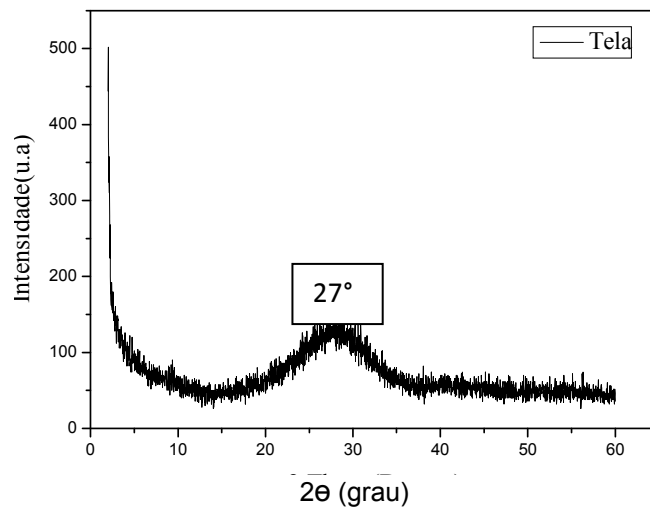
O vidro da tela apresenta quantidades significativas de óxido de bário (10,75%) e óxido de estrôncio (7,71%), que aumentam a transparência e resistência elétrica do vidro, de acordo com (MENAD, 1999; MÉAR et al., 2005, 2007; ANDREOLA et al., 2005, 2007; DONDI et al., 2009; MOSTAGHEL, 2010). Este vidro é classificado como vidro alcalino devido à quantidade de óxidos de metais alcalinos e metais alcalinos terrosos presentes nos mesmos.

#### **4.1.2 Difração de Raios-X (DRX)**

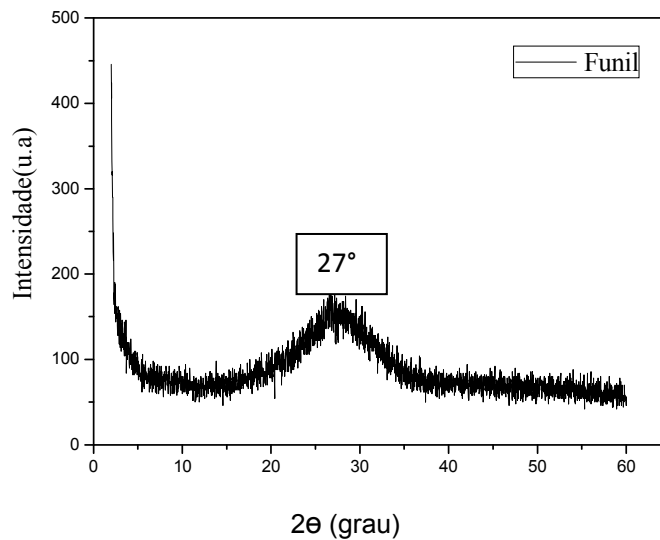
As Figuras 4.1 e 4.2 ilustram os difratogramas de Raios-X das amostras dos resíduos vítreos provenientes da tela e do funil do monitor.



**Figura 4.1 – Difratoograma de Raios-X do resíduo vítreo proveniente da tela do monitor**



**Figura 4.2 – Difratoograma de Raios-X do resíduo vítreo proveniente do funil do monitor**

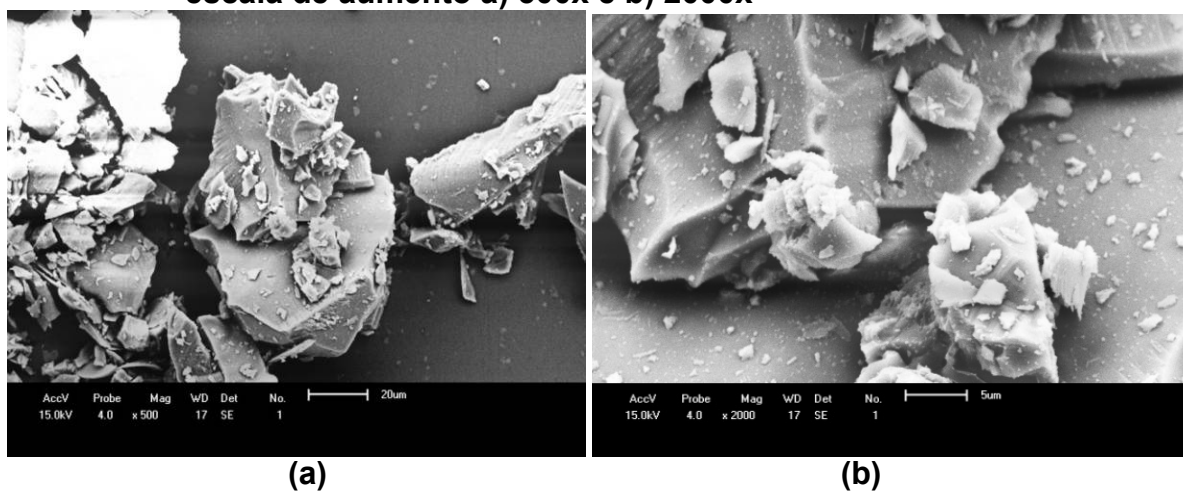


Através dos espectros de difração das amostras dos resíduos vítreos (Figuras 4.1 e 4.2), provenientes da tela e do funil, observam-se resultados similares, com ausência de fases cristalinas, apresentando uma banda típica amorfa em torno de  $27^\circ$ , que deve ser proveniente da presença de sílica nas amostras, confirmando estudos realizados por Mostaghel et al. (2009) e Cavalcanti (2010).

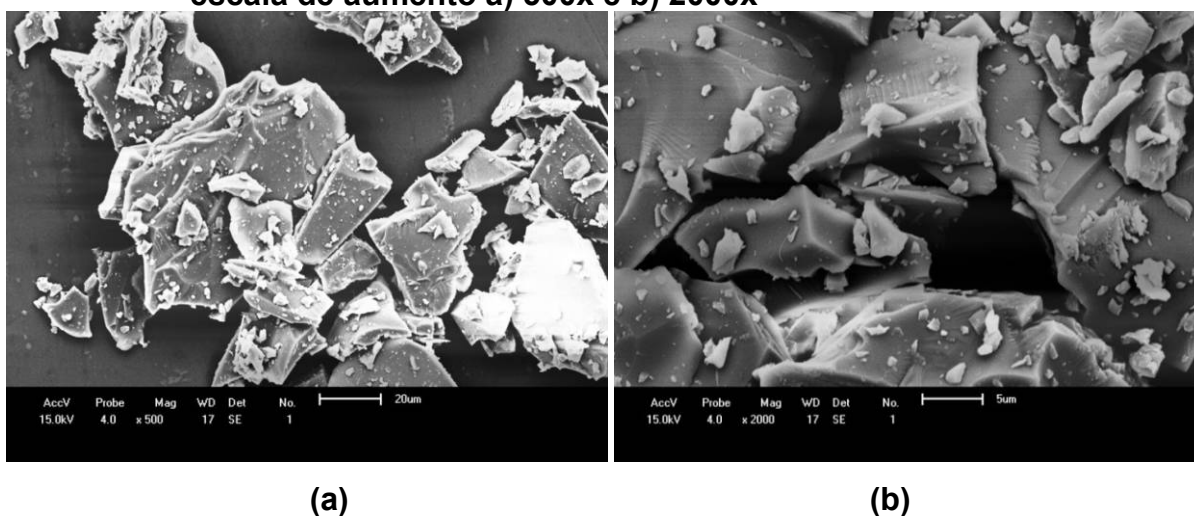
### 4.1.3 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

As Figuras 4.3 e 4.4 ilustram as micrografias dos resíduos vítreos provenientes da tela e do funil.

**Figura 4.3 – Micrografia do resíduo vítreo proveniente da tela do monitor em escala de aumento a) 500x e b) 2000x**



**Figura 4.4 – Micrografia do resíduo vítreo proveniente do funil do monitor em escala de aumento a) 500x e b) 2000x**

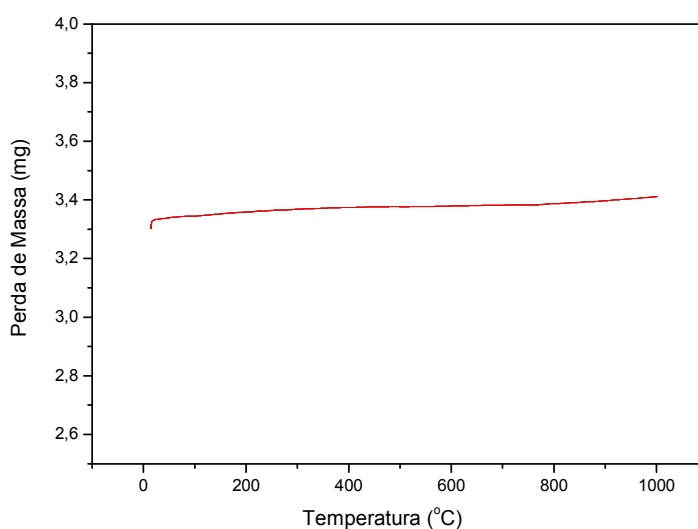


Observa-se nas micrografias obtidas (Figuras 4.3 e 4.4) dos resíduos vítreos provenientes da tela e do funil, uma irregularidade no tamanho das partículas com formas de poliedros típicas de materiais amorfos. Estes resultados apresentados estão de acordo com o estudo realizado por Pereira (2010).

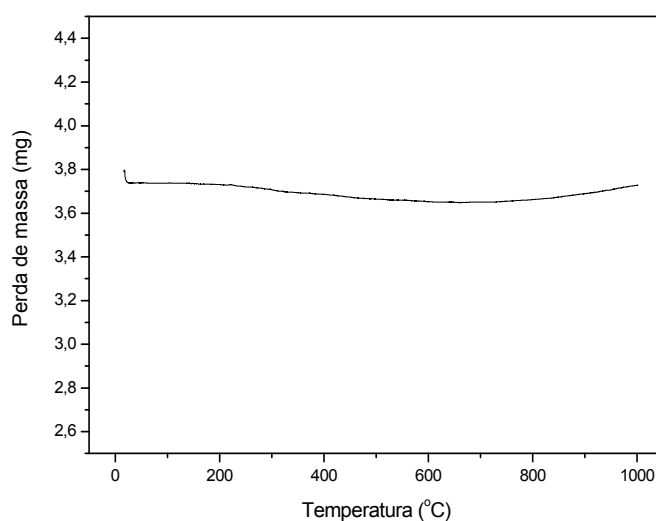
#### 4.1.4 Termogravimetria e Análise Térmica Diferencial (TG/DTA)

As Figuras 4.5 e 4.6 apresentam, respectivamente, os resultados da termogravimetria e da análise térmica diferencial dos resíduos vítreos provenientes da tela do monitor de computador, obtidos à razão de aquecimento de  $10\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$  e atmosfera de nitrogênio e atmosfera Ar.

**Figura 4.5 – Curva TG dos resíduos vítreos provenientes da tela do monitor, à razão de aquecimento de  $10\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$  e atmosfera de nitrogênio**

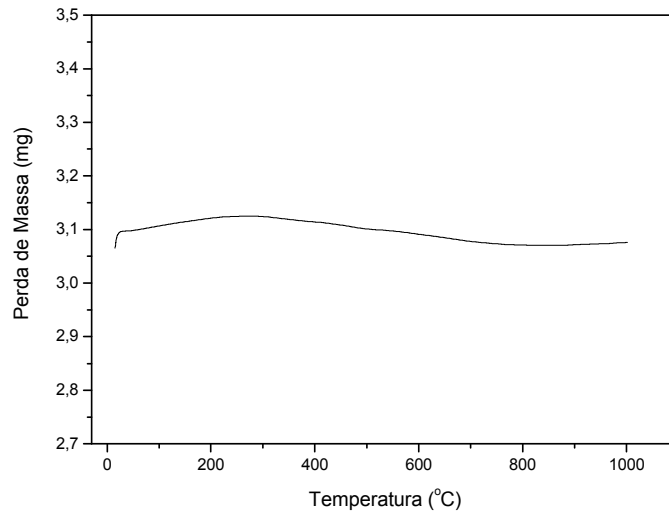


**Figura 4.6 – Curva TG dos resíduos vítreos provenientes da tela do monitor, à razão de aquecimento de  $10\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$  e atmosfera de Ar**

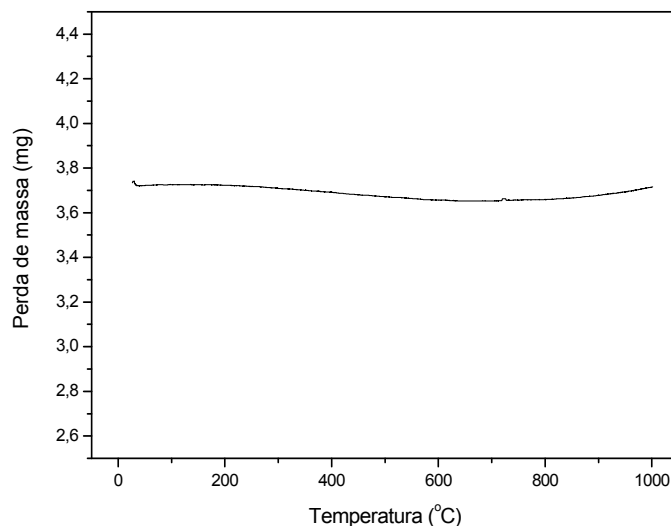


As Figuras 4.7 e 4.8 apresentam, respectivamente, os resultados da termogravimetria e da análise térmica diferencial dos resíduos vítreos provenientes do funil do monitor de computador, obtidos à razão de aquecimento de  $10\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$  e atmosfera de nitrogênio e atmosfera Ar.

**Figura 4.7 – Curva TG dos resíduos vítreos provenientes do funil do monitor, à razão de aquecimento de  $10\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$  e atmosfera de nitrogênio**



**Figura 4.8 – Curva TG dos resíduos vítreos provenientes do funil do monitor, à razão de aquecimento de  $10\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$  e atmosfera de Ar**

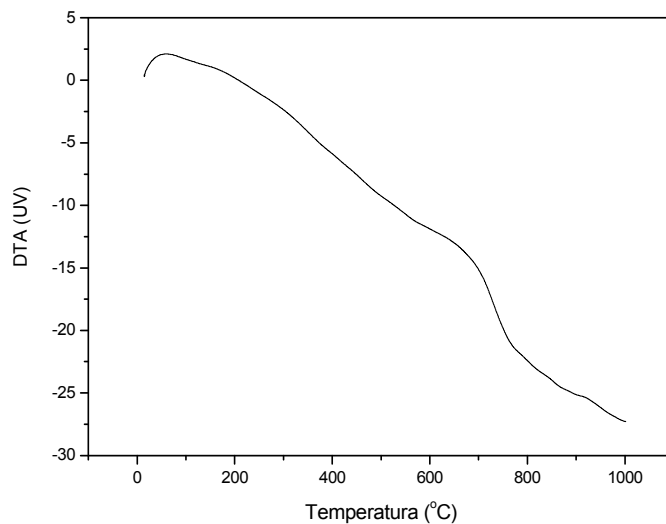


Nas curvas TG dos resíduos vítreos da tela e do funil observou-se uma perda de massa total de apenas 0,1mg, tanto em atmosfera de nitrogênio quanto para atmosfera de ar, o que mostra a alta estabilidade térmica do vidro, valores estes

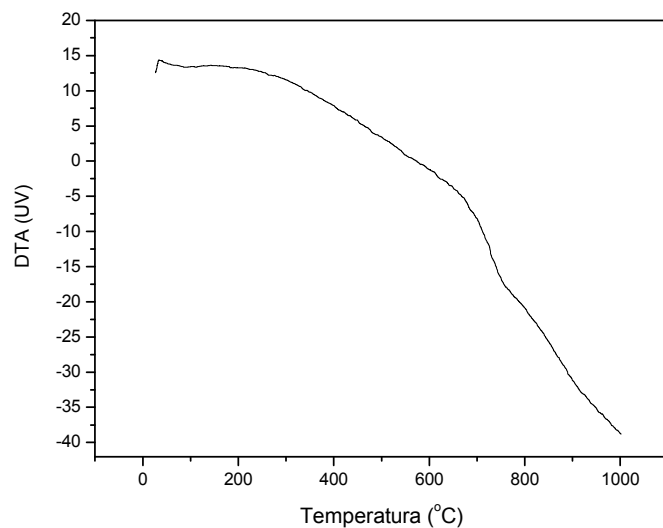
corroborados pelos dados obtidos nos trabalhos de Lucena (2008), Quirino (2008) e Cavalcanti (2010).

As Figuras 4.9 e 4.10 ilustram, respectivamente, os resultados da termogravimetria e da análise térmica diferencial dos resíduos vítreos provenientes da tela, obtidos à razão de aquecimento de  $10\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$  e atmosfera de nitrogênio e atmosfera de Ar.

**Figura 4.9 – Curva DTA dos resíduos vítreos provenientes da tela do monitor, à razão de aquecimento de  $10\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$  e atmosfera de nitrogênio**

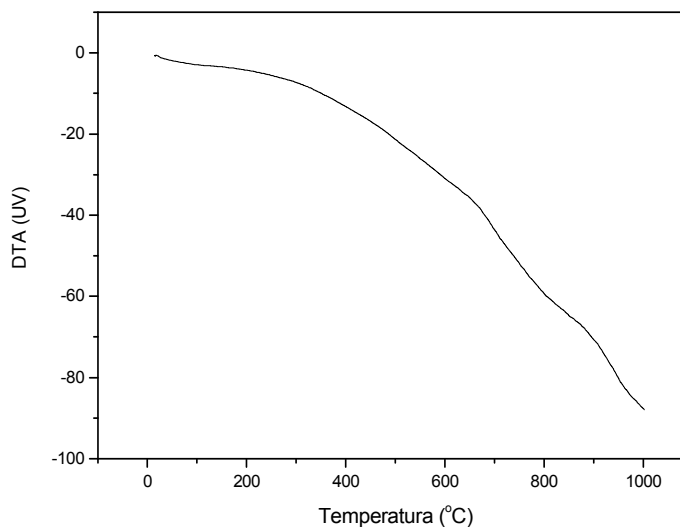


**Figura 4.10 – Curva DTA dos resíduos vítreos provenientes da tela do monitor, à razão de aquecimento de  $10\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$  e atmosfera de Ar**

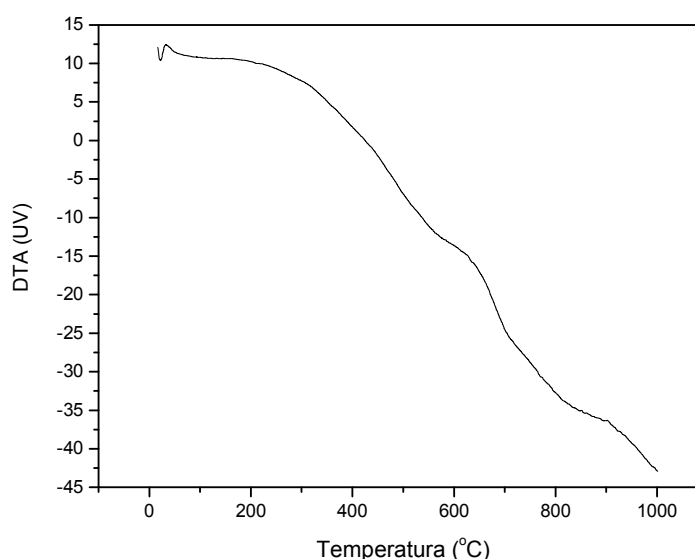


As Figuras 4.11 e 4.12 ilustram, respectivamente, os resultados da termogravimetria e da análise térmica diferencial dos resíduos vítreos provenientes do funil, obtidos à razão de aquecimento de  $10\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$  e atmosfera de nitrogênio e atmosfera de Ar.

**Figura 4.11 – Curva DTA dos resíduos vítreos provenientes do funil do monitor, à razão de aquecimento de  $10\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$  e atmosfera de nitrogênio**



**Figura 4.12 – Curva DTA dos resíduos vítreos provenientes do funil do monitor, à razão de aquecimento de  $10\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$  e atmosfera de Ar**



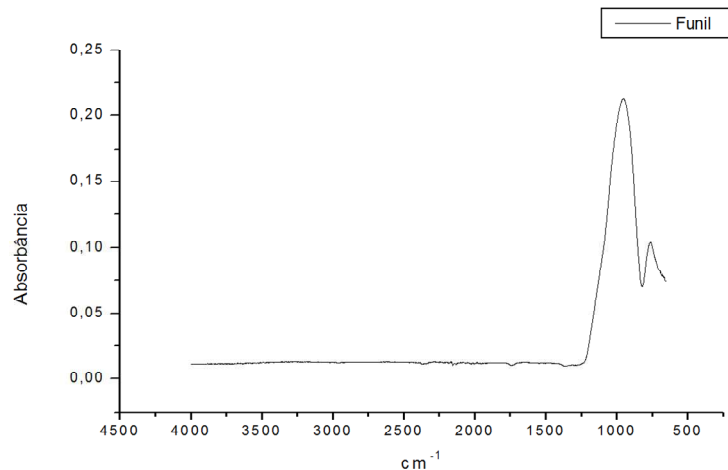
A curva DTA do resíduo vítreo proveniente da tela apresenta uma banda endotérmica entre  $700\text{ }^{\circ}\text{C}$  e  $750\text{ }^{\circ}\text{C}$ , enquanto a curva DTA do resíduo vítreo proveniente do funil também apresenta duas pequenas bandas endotérmicas nos intervalos de  $700\text{ }^{\circ}\text{C}$  e  $750\text{ }^{\circ}\text{C}$  e entre  $900\text{ }^{\circ}\text{C}$  e  $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ , características da fusão do

vidro, valores estes corroborados pelos dados obtidos nos trabalhos de Lucena (2008), Quirino (2008) e Cavalcanti (2010).

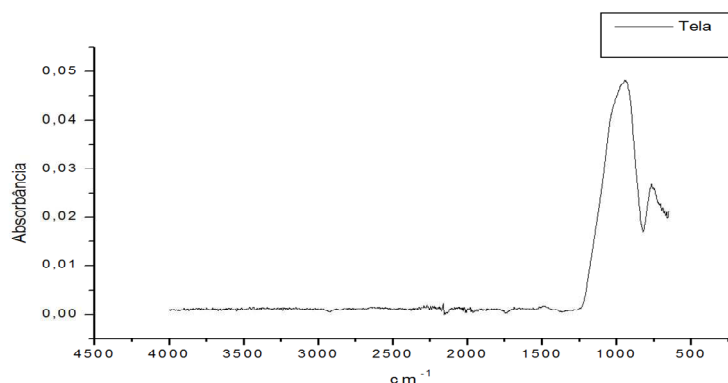
#### 4.1.5 Espectroscopia na Região do Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR)

As Figuras 4.13 e 4.14 ilustram os espectros na região do infravermelho das amostras dos resíduos vítreos provenientes do funil e da tela.

**Figura 4.13 - Espectro na região do infravermelho: vidro proveniente do funil do monitor**



**Figura 4.14 - Espectro na região do infravermelho: vidro proveniente da tela do monitor**



Analisando os espectros vibracionais de absorção na região do infravermelho dos vidros provenientes do funil e da tela do monitor (Figuras 4.13 e 4.14), pode-se observar uma banda na região de  $748\text{ cm}^{-1}$ , típica do estiramento Al-O-Si, enquanto que a banda em aproximadamente  $989\text{ cm}^{-1}$  corresponde aos estiramentos Si-O.

Estes resultados estão consonantes com o trabalho de Méar et al. (2006) e Cavalcanti (2010).

## 4.2 AVALIAÇÃO DOS MOLDES SOB CONDIÇÕES DE TRABALHO

### 4.2.1 Molde de Concreto Celular

Os moldes de concreto celular são fáceis de fazer modelos (esculpir) e resiste a temperaturas de até 800 °C, e usa-se por várias vezes no forno.

### 4.2.2 Molde de Cerâmica

Os moldes de cerâmica são de resistem a altas temperaturas acima de 800 °C, e tem uma boa durabilidade podendo ser usado no forno várias vezes.

### 4.2.3 Molde de Gesso

Observou-se que, para as técnicas de fusão a temperaturas acima de 800 °C, o molde de gesso não é viável, pois o mesmo se fragmenta por ser considerado descartável.

### 4.2.4 Molde de GQF

Este molde suporta temperaturas até 900 °C e sua secagem é mais lenta que a do molde de gesso, podendo ser esculpida durante a secagem. O molde de GQF, dependendo da temperatura de uso, pode ser utilizado mais de uma vez.

Os moldes confeccionados em gesso e GQF apresentaram resultados esperados de acordo com o seu uso em relação às temperaturas estudadas neste trabalho.

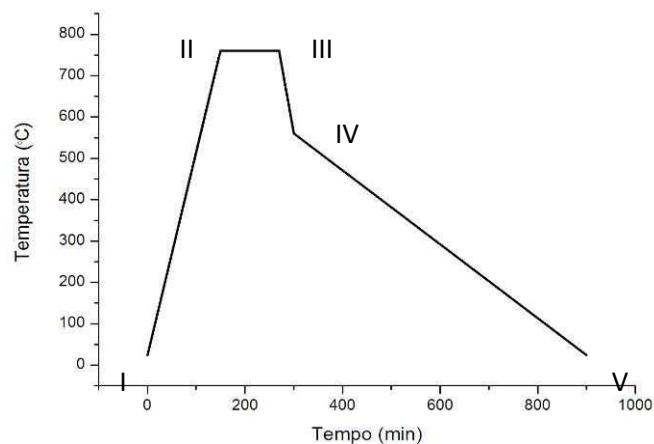


### 4.3 PROCESSOS DE RECICLAGEM DOS VIDROS

#### 4.3.1 Comportamento dos Vidros do Monitor (Tela e Funil) quando Submetidos a Tratamento Térmico

Foram realizadas análises a diferentes temperaturas para identificar a temperatura adequada aos processos técnicos Termoformado (*slumping*) e Vidro Vertido (*casting*) que são de 760 a 800 °C, respectivamente, de acordo com as Figuras 4.15 e 4.16, que apresentam os perfis térmicos de fusão dos resíduos vítreos da tela e do funil em função do tempo (minutos).

**Figura 4.15 – Perfil térmico dos artefatos confeccionados pelo método Termoformado**



Fonte: Elaborada pela autora, 2011

De acordo com a Figura 4.15 podem-se observar os seguintes pontos:

- I – Aquecimento até 760 °C com razão de 5 °C.min<sup>-1</sup>. Este é o ponto de abrandamento em que o vidro se deforma com o seu peso.
- II – Manutenção da temperatura de 760 °C, com um tempo de permanência de duas horas para estabilizar a temperatura interior do forno e equilibrar a do conjunto (molde e vidro).

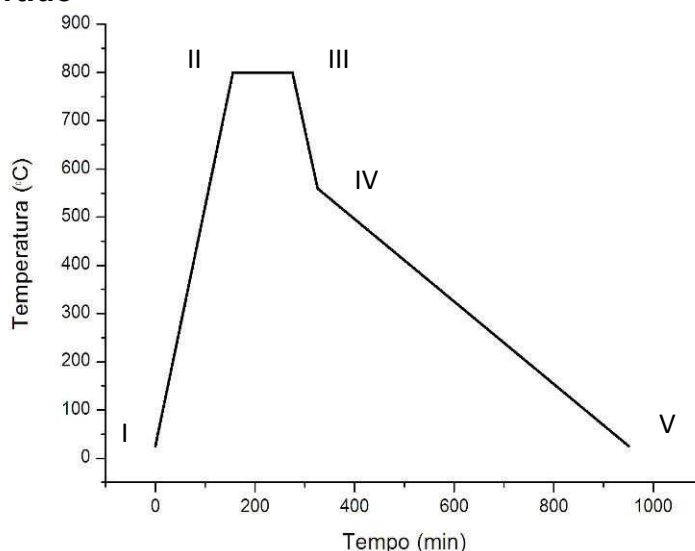
III – Ao final das duas horas dá-se uma pequena abertura na porta do forno para que a temperatura diminua rapidamente até 550 °C e assim evitar a desvitrificação (choque térmico).

IV – Resfriamento controlado com razão de 2 °C.min<sup>-1</sup>, para evitar que as placas do forno se partam.

V – Resfriamento do forno até atingir a temperatura ambiente.

O ciclo de termoformação inclui fases específicas, com elevação de temperatura controlada, possibilitando monitorar o comportamento do vidro durante a etapa de aquecimento rápido.

**Figura 4.16 – Perfil térmico dos artefatos confeccionados pelo método de Vidro Vertido**



Fonte: Elaborada pela autora, 2011

De acordo com a Figura 4.16 podem-se observar os seguintes pontos:

I – Aquecimento até 800 °C com razão de 5 °C.min<sup>-1</sup>. Este é o ponto de abrandamento em que o vidro adapta-se à forma do molde que o contém.

II – Manutenção da temperatura de 800 °C, com um tempo de permanência de duas horas para estabilizar a temperatura interior do forno e equilibrar a do conjunto (molde e vidro).

III – Ao final das duas horas, dá-se uma pequena abertura na porta do forno para que a temperatura diminua rapidamente até 550 °C e assim evitar a desvitrificação (choque térmico).

IV– Resfriamento controlado com razão de 2 °C.min<sup>-1</sup>, para evitar que as placas do forno se partam.

V – Resfriamento do forno até atingir a temperatura ambiente.

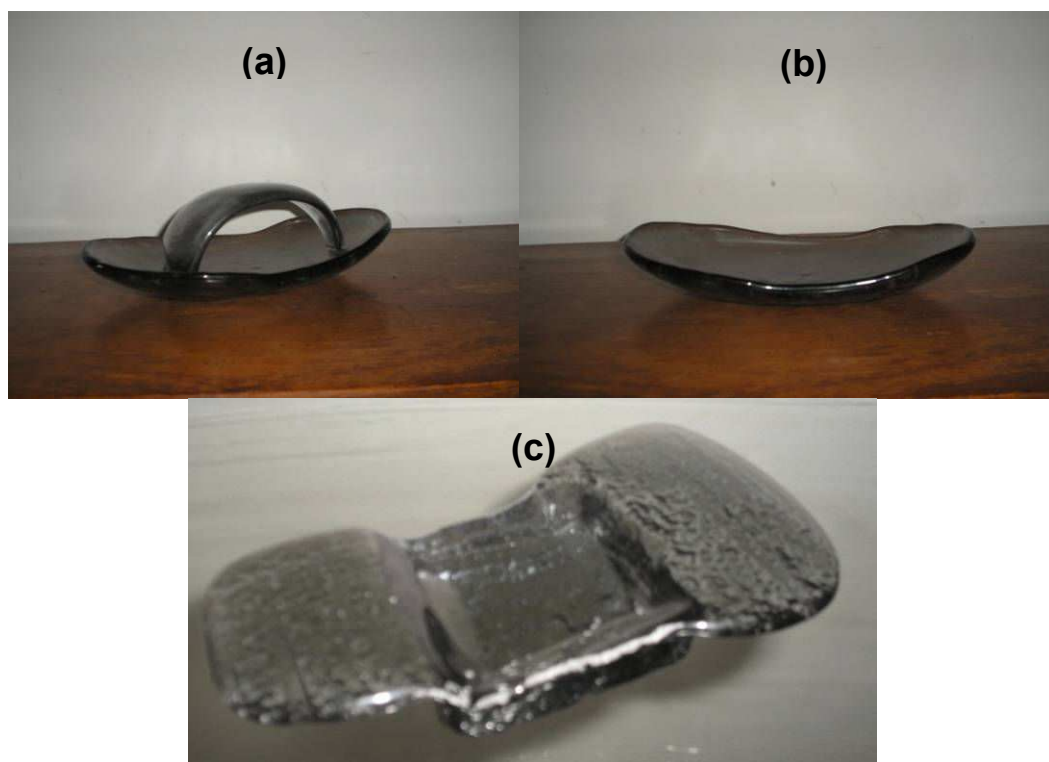
O vidro vertido baseia-se na criação de peças colocando o vidro fragmentado no molde. Depois de terminado o ciclo de cozimento, surgirá uma peça em que os fragmentos de vidro terão se fundido, unindo-se quase que intimamente, adaptando-se à forma interior do molde. Durante o ciclo de cozimento se deve atingir um estado totalmente fluido, para que o vidro flua livremente, e se obtenha o trabalho desejado.

#### 4.3.1.1 Características Visuais dos Artefatos Produzidos Através das técnicas Termoformado e Vidro Vertido.

Como pode ser observado, os resultados estéticos apresentados nas Figuras 4.17 (a), (b) e (c) são satisfatórios, uma vez que foram obtidas peças confeccionadas com vidros reciclados pelos dois processos técnicos utilizados (Termoformado e Vidro Vertido). O termoformado é o resultado da combinação de diversos fatores, dependendo de aspectos como a espessura e tamanho do vidro, forma do molde, variações de viscosidade relativamente à temperatura, variações da tensão superficial e do peso do material. Este processo exige, por isso, um controle exaustivo por parte de quem elabora a peça, sendo a experiência e a sensibilidade fatores importantes neste processo, tendo o grau de exigência aumentado quando se trata de termoformação em queda livre. Durante o ciclo de cozimento nunca se deve atingir um estado totalmente fluido, evitando assim que o vidro flua livremente, o que poderia originar resultados indesejáveis.

Os objetos produzidos por termoformação apresentaram resultados estéticos satisfatórios, sem deformidade e sem a necessidade de acabamentos rigorosos nos objetos. A Figura 4.17 ilustra peças confeccionadas por termoformação.

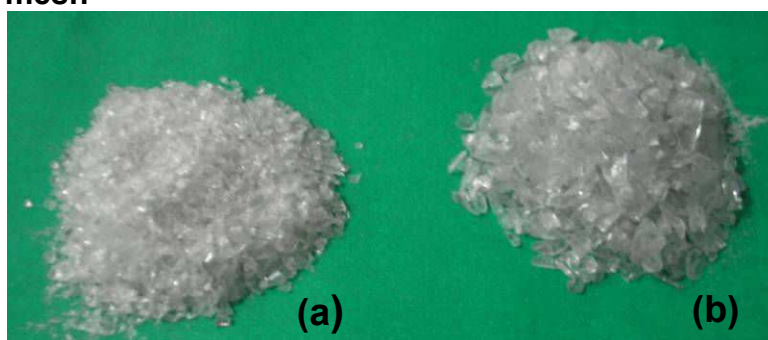
**Figura 4.17 – Artefatos confeccionados pela técnica Termoformado**



Fonte: Fotos da autora, 2011

Para uso da técnica vidro vertido, utilizaram-se resíduos vítreos com granulometria variada (10 mesh e 40 mesh), de acordo com a Figura 4.18.

**Figura 4.18 - Resíduos vítreos em diferentes granulometrias: (a) 40 mesh, (b) 10 mesh**

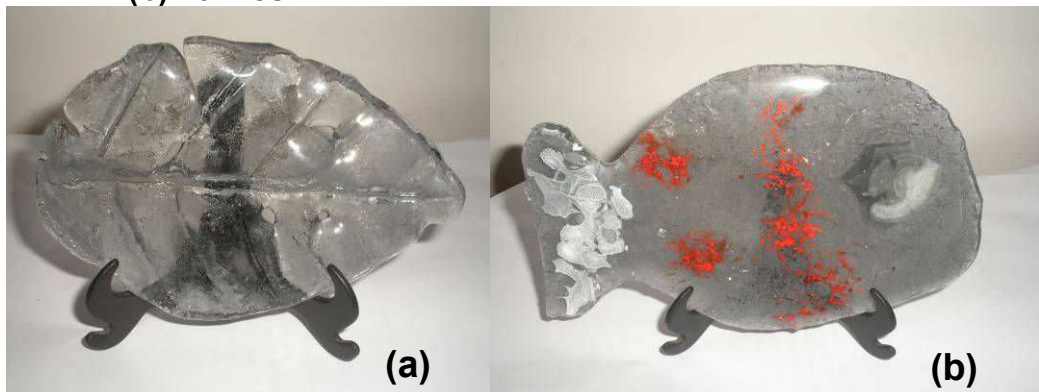


Fonte: Fotos da autora, 2011

Foi observado que a granulometria do resíduo vítreo influencia nas propriedades óticas dos artefatos obtidos no que se refere à opacidade ou translucidez, pois quanto menor for a granulometria dos vidros, maior opacidade ou translucidez terá o objeto obtido. Observa-se que, para uma mesma temperatura, os resíduos de granulometria mais grossa apresentam melhor translucidez. Quanto

menores forem os fragmentos do vidro, mais tempo de manutenção será necessário à temperatura de trabalho, de modo a adaptar-se à forma do molde, em virtude das bolhas de ar alojadas entre os fragmentos de vidro (BEVERIDGE et al., 2004). Os resultados podem ser observados nas Figuras 4.19(a) e (b), para os quais foi usada a mesma temperatura (800 °C) de trabalho.

**Figura 4.19 - Artefato confeccionado pelo método Vidro Vertido: (a) 10 mesh; (b) 40 mesh**



Fonte: Fotos da autora, 2012

A figura 4.20 ilustra algumas pastilhas confeccionadas pelo método Vidro Vertido, com diversas granulometrias, em uma mesma temperatura.

**Figura 4.20 - Pastilhas confeccionadas pelo método Vidro Vertido**



Fonte: Fotos da autora, 2012

Durante a confecção das pastilhas vítreas foi observado à possibilidade destas serem usadas em revestimento de paredes, pois as mesmas atendem aos objetivos funcionais e estéticos para tal decoração. Podendo ser fabricadas em nível de escala industrial, tendo como vantagem no processo a grande variedade de formas que podem ser obtidas e com diversidade de cores, o que dá a possibilidade de sempre está inovando.



**CAPÍTULO V**  
Conclusões

---

## 5 CONCLUSÕES

A perspectiva de crescimento da utilização de material reciclável do tipo resíduo vítreo na produção de peças tende a crescer e gerar novas tecnologias “limpas” com grande valor para o meio ambiente e a sociedade. Como a troca de tecnologia é mais evidente nos monitores para computadores viu-se a necessidade de um estudo em reciclagem do resíduo vítreo dos tubos de raios catódicos dos monitores de computadores. As técnicas de trabalho com vidro em forno oferecem um campo quase infinito de experimentação criativa, para o desenvolvimento de produtos a partir do material.

Com base nos resultados deste trabalho, as conclusões mais relevantes são:

- **CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS VÍTREOS**

Com relação à fluorescência de raios-X, pode-se observar que os vidros da tela e do funil analisados apresentam composições químicas diferentes, sendo o óxido de silício ( $\text{SiO}_2$ ) o componente em maior percentual nestes vidros: 59,89% e 48,63% para tela e funil, respectivamente. Este óxido é o responsável por formar a rede vítrea. O funil apresentou 29,47% de óxido de chumbo ( $\text{PbO}$ ), sendo classificado como vidro de chumbo. A tela apresenta quantidades significativas de óxido de bário (10,75%) e óxido de estrôncio (7,71%), sendo este vidro considerado alcalino.

Os resultados obtidos por difração de raios-X das amostras dos resíduos vítreos do funil e da tela são semelhantes entre si, apresentando uma banda amorfa que indica a presença de sílica, com ausência de fases cristalinas.

As micrografias dos resíduos vítreos provenientes da tela e do funil obtidas através do MEV apresentaram uma irregularidade no tamanho das partículas com formas de poliedros típicas de materiais amorfos.

Nas curvas Termogravimétricas dos vidros provenientes do funil e da tela do monitor observou-se uma perda de massa total de apenas 0,1mg, o que mostra a alta estabilidade térmica do vidro, enquanto que as curvas da análise térmica diferencial apresentaram bandas endotérmicas que são características da fusão do vidro.



Através dos espectros vibracionais de absorção na região do infravermelho dos vidros provenientes do funil e da tela do monitor pode-se observar uma banda na região de  $748\text{ cm}^{-1}$ , típica do estiramento Al-O-Si, enquanto que a banda em aproximadamente  $989\text{ cm}^{-1}$  corresponde aos estiramentos Si-O.

- AVALIAÇÃO DOS MOLDES SOB CONDIÇÕES DE TRABALHO

Acordo com os moldes estudados e utilizados na pesquisa foi observado que o molde de concreto celular e de cerâmica são de fácil manuseio, o molde de concreto celular é um molde pré-fabricado, onde este só precisa esculpir o modelo da peça, já o molde de cerâmica pode ser feito de acordo com o modelo da peça que se quer obter.

Os moldes confeccionados em gesso e GQF apresentaram resultados satisfatórios para uso, em relação às temperaturas estudadas.

- PROCESSOS DE RECICLAGEM DOS VIDROS

Nas fusões dos resíduos vítreos provenientes da tela e do funil, foram analisadas temperaturas adequadas as técnicas Termoformado (*slumping*) e Vidro Vertido (*casting*), que são de 760 a 800 °C, respectivamente, nas quais ocorre a vitrificação total desses resíduos.

A reciclagem dos resíduos vítreos utilizando as técnicas Termoformado e Vidro Vertido oferece um vasto campo de criatividade para desenvolvimento dos produtos com características sustentáveis, uma vez que se usa tanto o resíduo vítreo inteiro (peças ou pedaços) como também o resíduo vítreo triturado. Os resultados visuais apresentados foram satisfatórios, uma vez que foram obtidos objetos de vidros sem deformidade e sem precisar de acabamentos rigorosos.

O desenvolvimento de produtos sustentáveis com tecnologias que usam o vidro para reciclagem é uma proposta fundamental para os catadores, uma vez que apresentam uma proteção para o meio ambiente e um valor para a sociedade, gerando trabalho e renda.

**Sugestões para futuras pesquisas**

---

Sugestões para futuras pesquisas:

- Determinar outras propriedades físicas, tais como: dureza, resistência à abrasão e resistência à tração dos artefatos de vidro.
- Estudar diferentes temperaturas de queima e processos de fusão do vidro de CRT, visando à obtenção de novas texturas, efeitos e acabamentos.
- Estudar a possibilidade de novas composições, através da junção de materiais cristalinos e amorfos, tais como cerâmica, metais e vidros.
- Realizar um estudo da viabilidade econômica e técnica da utilização do resíduo vítreo de CRT para uso como revestimentos de paredes.



## REFERÊNCIAS

**ABIVIDROS – Associação Técnica Brasileira das Indústrias Automotivas de Vidro.** Boletim Informativo, São Paulo, 2008.

ACOSTA, B.; PADULA, D. A. ; WEGNER, D. **Logística reversa como mecanismo para redução do impacto ambiental originado pelo lixo tecnológico.** Revista Eletrônica de ciências administrativa (RECADM), v. 07, p. 1-12, maio de 2008.

**AGENDA 21** disponível em <<http://www.mma.gov.br/sitio/>> Acesso em 20 de maio de 2010.

AKERMAN, M. **Apostila de Natureza, Estrutura e Propriedades do vidro,** 2006.

ALVES, O. L.; GIMINEZ, I. F.; MAZALI, I. O. **VIDROS – Cardemos Temáticos de Química Nova na Escola.** Maio 2001.

AMPUDIA, R. **Reciclando a Consciência – Separar o lixo é simples e eficiente.** Disponível em <http://www.jornaldomeioambiente.com.br>. Acesso em 20/07/2010.

ANDREOLA, F.; BARBIERI, L.; CORRADI, A.; LANCELLOTTI, I.; FALCONE, R.; HRWGLICH, S. **Glass-ceramics obtained by the recycling end life cathode ray tubes glasses.** journal Waste Management Society- Elsevier, Italy, v.25, p.183-189, December 2005.

ANDREOLA, F.; BARBIERI, L.; CORRADI, A.; LANCELLOTTI, I. **CRT glass state of the a case study: Recycling in ceramic glazes.** Journal of the European Ceramic Society- Elsevier, Londom,v.27, p.1623-1639, June 2007.

ARMELLINE, C.; FERNANDES, D. **Utilização da sucata de vidro Para Preparação de Novos Produtos.** In: 48º congresso brasileiro de materiais. Anais. Curitiba-PR, 2004.

ASSAD, M. M. N. **SUSTENTABILIDADE: um estudo sobre responsabilidade social do gerenciamento de resíduos sólidos industriais no Médio Vale do Paraíba.** Disponível em < <http://www.unitau.br/dissertacoes-2003>>. Acesso em: 26 março de 2010.

ASSIS, O. B. G. **O uso do vidro reciclado na confecção de membranas para microfiltração.** Revista cerâmica. v. 52, p. 105-113, 2006.

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA ELÉTRICA E ELETRÔNICA (ABINEE).** Março de 2004. Disponível em: <<http://www.tec.abinee.org.br>>. Acesso em abril de 2010.

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.** (2004a) NBR 10.004: resíduos sólidos- Classificação - Rio de Janeiro.

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.** (2004c) NBR 10.007: Amostragem de resíduos sólidos - Rio de Janeiro.

AZAMBUJA, J. R. **Edição Integrada nas Comemorações dos 250 anos da Indústria do vidro**, 2002.

BEVERIDGE, P.; DOMÉNECH, I.; PASCUAL, E. “**O Vidro, Técnicas de Trabalho de Forno**”, Coleção Artes e Ofícios; Editorial Estampa 2004.

BERNARDO, E.; BONOMO, E.; DATTOLI, A. **Optimization of sintered glass-ceramics from an industrial waste glass.** Ceramics International J Society-Elsevier, v.36, p.1675-1680, 2010.

BRANQUINHO, Fátima.; FELZENSZWALB, Israel. (organizadores), **Meio ambiente: Experiências em pesquisa multidisciplinar e formação de pesquisadores.** 1 ed. Rio de Janeiro: MAUAD, faperj. 2008.

BRASIL **Política nacional de resíduos sólidos.** Disponível em <<http://www.lixo.com.br>> Acesso em 10 de agosto de 2010.

CALLISTER, W. D. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução.** 5 ed LTC: Rio de Janeiro, 2002.

CÂNDIDO, L. H. A. **Contribuição ao estudo da reutilização, redução e da reciclagem dos materiais com aplicação do ecodesign.** Dissertação de Mestrado. Programa de pós-graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2008.

CARVALHO, V. **Do lixo eletrônico para a sala de aula.** 13 jan. 2010. Disponível em: <<http://www.rts.org.br/noticias/destaque-1/do-lixo-eletronico-para-a-sala-de-aula>>. Acesso em: 15 jan. 2010.

CASTRO, A. L. F. **Reciclagem de vidro no Brasil.** Ist Meeting of Latin American Metropolitan Mayors on Waste Manegement and Technologies. São Paulo, nov. 1991.

CAVALCANTI, M. S. L. **Desenvolvimento de Massas Cerâmicas para Grés Sanitários Utilizando Resíduo de Vidro Plano como Fundente em Substituição Parcial ao Feldspato** Tese de Doutorado. Engenharia de Processo. Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2010.

**Centro de Tecnologia de Informação Aplicada da Fundação Getúlio Vargas (FGV)**, Disponível em < <http://portal.fgv.br/>> Acesso em 20 de maio de 2011.

Curso 24 Horas: **Reciclagem e Energias Renováveis**. [www.cursos24horas.com.br](http://www.cursos24horas.com.br). Apostila, 2008.

Dias, M. E.; Coelho, R. C.; Lima, R. V. **Design com Responsabilidade Social: Projeto de Produto a Partir de Tubos de Raios Catódicos com Ênfase Social, Econômica e Ambiental**. Birigui SP-2010 FACULDADE DE CIENCIAS E TECNOLOGIA DE BIRIGUI – FATEB, Birigui – SP, 2010.

DONDI, M.; GUARINI, G.; RAIMONDO, M.; ZANELLI, C. **Recycling PC and TV waste glass in clay bricks and roof tiles**. Journal Waste Management Society-Elsevier, Italy, v.29, p.1945-1951, Jan.2009.

FAVERA, E. C. D. **Lixo eletrônico e sociedade**. Disponível em < <http://www-usr.inf.ufsm.br/>>. Acesso em: 10 de maio de 2011.

FERNANDES, D. **Desenvolvimento de novas técnicas para utilização de sucata de vidro visando a produção de novos produtos**. Curitiba, UFPR, 2004.

FERREIRA, J. M. B.; FERREIRA, A. C. **A sociedade da informação e o desafio da sucata eletrônica**. Revista de Ciências Exatas e Tecnologia. Vol. 3, n. 3. P.157-170, 2008.

GOLDINHO, O. K.; HOLANDA, J. N. F.; SILVA, A. G. P. **Obtenção e avaliação de propriedades tecnológicas de corpos cerâmicos a base de argila e vidros reciclados**. Revista cerâmica. v. 51, p. 419-427, 2005.

GONÇALVES, B. S. B. **Impacto do Lixo Tecnológico no Ambiente**, 2007. Disponível em <<http://www.impactodlixotecnologiconoambiente>>. Acesso em 02 de abril de 2011.

GONÇALVES, P. **A reciclagem integradora dos aspectos: ambientais, sociais e econômicos** 2. ed. Rio de Janeiro: Editora DP&A, 2003.

GREGOLIN, J. A. R. **Desafios para o desenvolvimento regional: arranjo produtivo local de couro e calçados**. Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional, 2006.

GRIPPI, S. **Lixo: reciclagem e sua história: guia para as prefeituras brasileiras – 2. ed.** Rio de Janeiro: Interciência, 2006.

**Inovação Tecnológica. (s.d.). Materiais Avançados.** Disponível em <<http://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias>>. Acesso em 28 julho 2011.

KARAMBERI, A.; MOUTSATSOU, A. **Vitrification of fly and metal slags for the production of glass and glass ceramics.** Revista China Partcuology. v. 4, n. 5, p. 205-253, 2006.

LIMA, J. D. **Sistema Integrados de Destinação Final de Resíduos Sólidos Urbanos.** Editado por: ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental Seção – Paraíba. 1ª edição 2005.

LIMA, J. D. **Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil.** Editado por: ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental Seção – Paraíba. 1ª edição 2005.

LIMA, R. M. R.; FILHO, R. **A reciclagem de materiais e suas aplicações no desenvolvimento de novos produtos: um estudo de caso.** In 3 congresso de gestão de desenvolvimento de produto, Florianópolis 2001.

LORENZI, E. S. **Vidros bactericidas no tratamento microbiológico de água.** Florianópolis. Disponível em: <<http://www2.enq.ufsc.br/teses/m118.pdf>>. Acesso em 18 jan 2010.

LUCENA, L. C. F. L. **Utilização de resíduos de vidros planos como filer em misturas asfálticas - propriedades físico-químicas e mecânicas.** Dissertação de Mestrado. Unidade Acadêmica de Engenharia de Materiais. Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2008.

LUNA, A. **Asas à imaginação e o vidro ganha nova vida.** 2007. Disponível em: <[http://www.andiv.com.br/downloads/rep-esp/ovidroplano\\_411\\_mar07vidrosartisiticos.pdf](http://www.andiv.com.br/downloads/rep-esp/ovidroplano_411_mar07vidrosartisiticos.pdf)> Acesso em: 12 out 2010.

MAIA, S. B. **O vidro e sua fabricação.** Rio de Janeiro: 1 ed. Interciência, 2003.

MANO, E. B.; PACHECO, E. B A. V.; BONELLI, C. M. C. **Meio ambiente, poluição e reciclagem,** 1 ed. Rio de Janeiro: EDGARD BLÜCHER, 2009.

Manual – **Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos** – IBAM, Rio de Janeiro, 2001.

Manual de saneamento, **Fundação Nacional de Saúde – FUNASA.** 3 ed. Brasília, 2006.

MARI, E.A. **LOS VIDROS.** vol1. Buenos Aires: Américalee, S.R.L, 1982.



MARQUES, A. C. **Análise de similares: contribuição ao desenvolvimento de uma metodologia de seleção de materiais e ecodesign.** Dissertação de Mestrado. Programa de pós-graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2008.

MARRON, C. E.; SUGURO, R.; MARIM, R. **Historia, Evolução e Tecnologia dos Monitores.** Instituto de Computação – Universidade Estadual de Campinas, Brasil, 2008. Disponível em: <[www.ic.unicamp.br](http://www.ic.unicamp.br)>. Acesso em 02 maio 2010.

MÉAR, F.; YOT, P.; COMBON, M.; RIBES, M. **The characterization of waste cathode-ray tube glass.** journal Waste Management Society-Elsevier, v.26, p.1468-1476, 2006.

MOSTAGHEL, S.; SAMUELSSON, C. **Metallurgical use of glass fractions from waste electric and electronic,** journal Waste Management Society- Elsevier, v.30, p.140-144, 2010.

MENAD, N. **Cathode ray tube recycling.** Resources, Conservation and Recycling Society-Elsevier, v.26, p.143-154, November 1999.

NAVARRO, J.M.F. **El vidrio.** 2 ed. Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas, 2005.

NAVARRO, R. F. **Materiais e ambiente** – João Pessoa; Editora universitária/UFPB, 2001.

NETO, I. R. **TECNOLOGIAS SOCIAIS: conceitos & perspectivas.** Disponível em: <[ieham.org/docs/tecnologias\\_sociais\\_conceitos\\_e\\_perspectivas\\_pdf](http://ieham.org/docs/tecnologias_sociais_conceitos_e_perspectivas_pdf)>. Acesso em 12 março de 2012.

NICOLESCU, B. **A Evolução Transdisciplinar a Universidade: Condição para o Desenvolvimento Sustentável.** Disponível em: <<http://nicol.club.fr/ciret/bulletin/b12/b12c8por.htm>>. Acesso em 02 maio 2008.

OLIVEIRA, N. M. S. **Diagnóstico e classificação dos resíduos vítreos gerados no município de Campina Grande – PB.** Dissertação de Mestrado. UFCG - Campina Grande, 2007.

PATZA, F.; MARTINS, M. R.; WEIS, M. F. **Vidros: Trabalho de graduação apresentado à UFPR,** Curitiba, 2005.

PEREIRA, A. J. V. **Desenvolvimento de Novos Produtos em Vidro Utilizando Tecnologias de Prototipagem Rápida.** Dissertação de Mestrado da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2006.

PEREIRA, A. S.; FELISBETO, D. S.; DAROS, M. T.; UGGIONI, E. **Reciclagem de vidro de embalagem: Alternativa ao descarte.** Disponível em [www.cescage.edu.br/](http://www.cescage.edu.br/) Acesso em: 10 de maio de 2010.

PINOTTI, R. **Educação Ambiental para o Século XXI: No Brasil e no Mundo**, 1 Ed. São Paulo: BLÜCHER, 2010.

PROJETO RECICLARTE: **Cidadania e Compromisso Com a Vida** – FIEP/IEL, Campina Grande/PB, 2005.

QUIRINO, L. B. **Caracterização e Processamento de Resíduos Vítreos Visando a Reciclagem no Município de Campina Grande – PB.** Dissertação de Mestrado. Unidade Acadêmica de Engenharia de Materiais. Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2008.

RECICLOTECA - Centro de Informações sobre Reciclagem e Meio Ambiente. **Conheça sua embalagem de vidro.** 2003.

REUTER, J. **Vidros: técnicas em vidros – coleção manuais técnicos v.10.** Universidade Federal da Paraíba/UFPB – Recife-PE, 1994.

ROCHA, S. P. B.; ESTIVAL, K.; SILVA, G. G. A. **Aspectos logísticos ambientais na aquisição de insumo reciclável de uma indústria de reciclagem de vidro.** Universidade Federal de Pernambuco/UFPE, 2002.

RODRIGUES, A. C. M.; PEITL, O. **Reciclagem de Vidros no Brasil: Um Panorama Geral.** Universidade Federal de São Carlos/SP, 2000.

RODRIGUES, A. C. M.; ZANOTTO, E. D. **Indústria e pesquisa do setor vidreiro no Brasil- em “El Vidrio en Iberoamerica: Industria, Investigacion y Formacion”-** Livro do Cytel, Ed. Sociedad Espanhola de Cerâmica y Vidrio, p. 31-46, 1998.

ROSA, A. **Fabricação de cada computador consome 1.800 quilos de materiais, 2007.** Disponível em < <http://www.inovacaotecnologica.com.br>>. Acesso em 02 de abril de 2010.

SCHNEIDER, E. **Gestão Ambiental Municipal: Preservação ambiental e o desenvolvimento sustentável.** Disponível em:<[http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2000\\_E0137.PDF](http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2000_E0137.PDF)>. Acesso em: 10 de maio 2008.

SCHUARTZ, E. M. **Manual de vidraria artesanal.** Volume 1. São Paulo, 2002.

SHELBY, J. E. **“introduction to glass science and technology”**, 2nd Edition - Paperback, Royal Society of Chemistry. (2005).

SMITH, A .S. **Proceedings of Sustainable waste management and recycling; glass WASTE**, (2004). 149-165.

TUCCI, A; ESPÓSITO, L.; RASTELLI, F.; PALMONARI, C.; RAMBALDI, F. **Recycling of CRT panel glass as fluxing agent in the porcelain stoneware tile production**. Ceramics International Society-Elsevier, Londom,v.34, p.1289-1295, april.2008.

TUCCI, A; ESPÓSITO, L.; RASTELLI, F.; PALMONARI, C.; RAMBALDI, F. **Local structure around lead, barium and strontium in waste cathode ray tube glasses**. Journal of Non Crystalline Solids Society-Elsevier, Londom, v.353, p.4640-4646, 2007.

UNITED NATIONS. **Report of the World Commission on Environment and Development, General Assembly Resolution 42/187**, 11 December 1987. Disponível em: <http://www.un.org/documents/ga/res/42/ares42-187.htm>, Acesso em 20 de maio de 2010.

VAN VLACK, L. **Propriedades dos Materiais Cerâmicos**. Editora Edgar Blucher. 2003.

VARGAS, I. M.; WIEBECK, H. **Reciclagem de vidro laminado: Utilização dos vidros de baixa granulometria como carga abrasiva na formulação de vernizes de alto trafego para pisos de madeira**. Revista Polímeros: Ciências e tecnologia. v. 17, n. 02 p. 137-144, 2007.

VASQUES, R. A., ROCHA, V.C, FERNANDES, D. M. P. **Vidro Reciclado Aplicado a Revestimentos Cerâmicos**. In: 51 Congresso Brasileiro de Cerâmica. Anais. Salvador-Ba 2007.

VEIT, H. M.; BERNARDES, A. M.; BERTUOL, D. A.P.; OLIVEIRA, C. T. **Utilização de processo mecânicos eletroquímicos para a reciclagem de cobre de sucatas eletrônicas**. Revista escola de minas - Metalurgia & Materiais, v.16, p.1-10, n 2, Ouro Preto, abril/junho 2008.

VILLELA, A. DOSSIÊ TÉCNICO – *Fusing* de vidro: **técnicas de trabalho em forno elétrico**, novembro, 2007.

WWF Brazil - **O que é desenvolvimento sustentável?**.Disponível em< [www.wwf.org.br](http://www.wwf.org.br)>. Acesso em: 17 de Agosto de 2009.

ZANOTTO, E. D. **Vidro: Ciência, Tecnologia e Emprego no Brasil no Limiar do Terceiro Milênio**. 1998.

ZANOTTO, E. D. **Vidros de 400aC a 2000dC. Engenharia de Materiais**, v.1, n.1, p.33-36, 1989.



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA  
NÚCLEO DE PESQUISA E EXTENSÃO  
COMUNITÁRIA INFANTO-JUVENIL – NUPECIJ**

# I CONGRESSO

Paraibano de Gestão do

**“LIXO”**  
**CAPACITAÇÃO DOS CATADORES PARA O DESENVOLVIMENTO  
SUSTENTÁVEL ATRAVÉS DE CURSO ARTESANAL DE DECOPAGEM EM  
EMBALAGENS DE VIDRO**

**Norma Maria Silva de Oliveira  
Crislene Rodrigues da Silva Morais  
Alderiza de Albuquerque Veras**

Av. Aprígio Veloso, 882 – CEP: 58109 – Bodocongó, Campina Grande – PB  
Universidade Federal de Campina Grande – UFCG

Grande parte dos resíduos vítreos gerados na cidade de Campina Grande tem como destino final o lixão. O vidro não é biodegradável, ocupa grandes espaços em terrenos ficando amontoados. Boa parte dos resíduos vítreos são embalagens dos tipos potes para alimentos e garrafas para bebidas que podem ser reduzidas quando reaproveitadas em: potes para doces ou biscoitos e garrafas para água e licores. Para a reutilização das embalagens de vidros foi feita uma capacitação entre alguns catadores de lixo do Mutirão através de curso de “DECOPAGEM EM VIDROS” que é uma técnica de decoração artesanal feita com recortes e colagens.



## **LIXO ELETRÔNICO: CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DOS VIDROS DE TUBOS DE RAIOS CATÓDICOS COM VIABILIDADE PARA RECICLAGEM**

Norma Maria O. Lima<sup>1</sup>, Crislene R. Silva Morais<sup>1</sup>, Lenilde Mérgia Ribeiro Lima<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Unidade Acadêmica de Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Campina Grande, CEP 58109-900, Campina Grande, PB, Brasil  
normalimam@ig.com.br

<sup>2</sup>Unidade Acadêmica de Tecnologia do Desenvolvimento – UATEC, Universidade Federal de Campina Grande, CEP 58540-000, Sumé, PB, Brasil

### RESUMO

*O lixo eletrônico, ou e-lixo, quase sempre toma destinos incorretos, o que acarreta sérios problemas ambientais. O objetivo deste trabalho foi fazer uma análise de Fluorescência de raios-X para estudar a tecnologia de reciclagem para os vidros dos Tubos de Raios Catódicos ou, popularmente, “tubos de imagem”, identificados pela sigla CRT (Cathode Ray Tubes), que integram monitores de computadores. Observou-se que os vidros da tela e do funil analisados apresentam composições químicas diferentes. Sendo o óxido de silício (SiO<sub>2</sub>) o componente de maior percentual nestes vidros 59,89% e 48,63% para tela e funil respectivamente esse oxido é o responsável por formar a rede vítrea. O estudo da reciclagem de monitores de computador torna-se importante, uma vez que cerca de 45% dos materiais existentes em um monitor são compostos de vidro, tratando-se de material 100% reciclável e que pode ser reaproveitado, diminuindo, assim, a quantidade de resíduos depositados no meio ambiente.*

Palavras-chave: Lixo eletrônico, reciclagem, análise química.

### INTRODUÇÃO

O Brasil produz 2,6 kg de lixo eletrônico por habitante, cifra equivalente a menos de 1% dos 50 milhões de toneladas de resíduos eletrônicos produzidos no mundo todo ano. No

entanto, a indústria eletrônica continua em expansão e, em 2007, foram vendidos no país 10,5 milhões de computadores, número maior do que o de televisores. A **Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica – ABINEE** estima um crescimento de vendas

de 28% para este ano. Até 2012 espera-se que o número de computadores existentes no país dobre e chegue à marca dos 100 milhões de unidades.

Quando um material usado (carro, jornal ou computador, por exemplo), alcança o fim do seu ciclo de vida, perde valor econômico e torna-se um resíduo (1).

Lixo eletrônico é a denominação genérica para todo tipo de descarte de equipamento eletroeletrônico. Com o aumento contínuo na produção e consumo de eletrônicos, a quantidade desse tipo de lixo gerado a cada ano torna-se um problema cada vez maior. O lixo eletrônico não pode ser descartado junto com o lixo comum, pois o grande número de elementos tóxicos pode contaminar o meio ambiente. Além disso, qualquer eletrônico é, por definição, um objeto recheado de conhecimento aplicado e, muitas vezes, descartá-lo é desperdiçar esse conhecimento (2).

O problema do lixo eletrônico começa com a produção e o consumo. Com o auxílio da mídia especializada, a indústria de eletroeletrônicos se esforça para criar a ilusão de obsolescência e, com isso, convencer as pessoas de que torna-se necessário trocar seus computadores, celulares, câmeras e outros equipamentos em períodos cada vez mais curtos. Além disso, a indústria também adota práticas predatórias no processo produtivo, tais como mão de obra precária, uso de matéria primas extraídas sem levar em consideração os impactos social e ambiental (3).

A todo o momento surgem computadores mais velozes, telefones cada vez menores, equipamentos de multimídia com maior capacidade de armazenagem e outras tecnologias. Tudo isso seria maravilhoso se o destino de grande parte dos equipamentos ultrapassados não fosse o meio ambiente (4).

Conhecidos como cinescópios, os Tubos de Raios Catódicos ou popularmente “tubos de imagem” são identificados mundialmente pela sigla CRT (*Cathode Ray Tubes*) e integram os monitores de computadores e televisores. Normalmente composto por três partes que são: tela ou painel (parte da frente), funil e pescoço (parte de trás) (5).

55° Congresso Brasileiro de Cerâmica, 29 de maio a 01 de junho de 2011, Porto e Galinhas, PE, Brasil

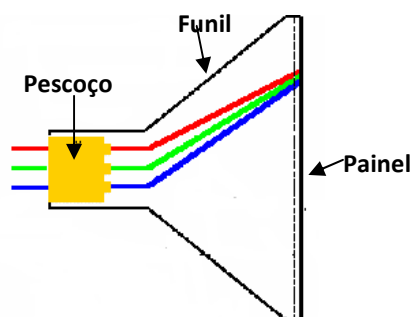
Existem caminhos diferentes para a reciclagem do vidro do CRT: o circuito fechado de reciclagem e o circuito aberto de reciclagem (6). São várias as aplicações com potencial para estes resíduos, tais como tijolos e telhas, fabricação de cerâmica, em espuma de vidro para isolamento, fabricação de novos CRTs e como material na fundição de metais. No circuito fechado de reciclagem, os CRTs são utilizados para produção de novos CRTs, enquanto que, no circuito aberto de reciclagem os vidros do CRTs, são utilizados para outras aplicações e produção de outros produtos [7, 8, 9].



A vantagem de se reciclar o vidro é a economia na aquisição de matéria prima pelo produtor, que é obtida sem a perda de volume e das propriedades do material. De uma forma geral, 55% dos custos vêm da aquisição de matéria prima, 30% da mão de obra e 15% da energia (10).

Os vidros que compõem os monitores de computador ou de televisão contêm elementos perigosos (chumbo, estrôncio e bário) e pesam entre 45% e 85% do peso total de um monitor (7), tendo os resíduos destes vidros um grande potencial de reaproveitamento e de reciclagem.

A análise química dos vidros dos tubos de raios catódicos indica que este material apresenta composições químicas completamente diferentes (9).



**Figura 1** - Esquema do CRT (9)

Diante do exposto, este trabalho objetiva a caracterização química dos resíduos vítreos provenientes dos CRTs dos monitores de computadores, visando propor alternativas tecnológicas e ambientais para a reciclagem dos mesmos.

55º Congresso Brasileiro de Cerâmica, 29 de maio a 01 de junho de 2011, Porto e Galinhas, PE, Brasil

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Materiais

Para realização da pesquisa foram utilizados os resíduos vítreos provenientes do tubo de raio catódico de monitores de computadores, sendo estes retirados da tela (painel) e do funil. O resíduo vítreo foi proveniente de computadores em desuso, oriundos da coleta seletiva realizada pela Cooperativa de Trabalhadores de Materiais Recicláveis – COTRAMARE, no município de Campina Grande/PB.

### Métodos

Com o objetivo de estudar as propriedades químicas dos Tubos de Raios Catódicos (CRTs), foi utilizada a seguinte técnica de caracterização: Fluorescência de raios-X (FRX).

As análises químicas dos vidros (painel e funil) foram realizadas por fluorescência de raios-X pelo método do semiquantitativo, em forma de pó, sob atmosfera a vácuo, colimador 10 mm. O equipamento utilizado foi o modelo EDX-720 marca SHIMADZU pertencente ao Laboratório de Caracterização de Engenharia de Materiais/CCT/UFCG.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Fluorescência de Raios-X (FRX)

Na análise de Fluorescência de Raios-X foram identificadas as composições químicas em porcentagem (%) de óxidos presentes nos vidros provenientes da tela e do funil dos monitores de computador. A Tabela 1 apresenta os resultados das composições químicas dos vidros da tela e do funil.

**Tabela 1.** Composição Química dos vidros provenientes da tela e do funil (óxidos, %), existentes nos vidros, por meio da técnica de Fluorescência de raios-X.

ÓXIDOS	VIDROS TELA (%)	VIDROS FUNIL (%)
SiO <sub>2</sub>	59,89	48,63
BaO	10,75	0,35
SrO	7,71	0,28
K <sub>2</sub> O	6,92	7,96
Na <sub>2</sub> O	6,64	5,15
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,20	2,65
ZrO <sub>2</sub>	1,97	0,00
CaO	1,43	3,62
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1,28	0,00
Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,11	0,00
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,06	0,00
Rb <sub>2</sub> O	0,02	0,06
PbO	0,00	29,47
MgO	0,00	1,79
ZnO	0,00	0,02
CuO	0,00	0,02

Fonte: Dados da pesquisa.

Pode-se observar que os vidros da tela e do funil analisados apresentam composições químicas diferentes, sendo o óxido de silício (SiO<sub>2</sub>), o componente de maior percentual nestes vidros (59,89% e 48,63% para tela e funil, respectivamente). O óxido de silício é o responsável por formar a rede vítrea. O óxido de alumínio (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) é estabilizante e usado para da resistência ao vidro e o resultado da análise mostrou um percentual de 3,20% no vidro de tela e 2,65% no vidro de funil. Os óxidos dos metais alcalinos e metais alcalinos terrosos (óxidos de sódio, cálcio, e potássio) foram encontrados nos vidros da tela e do funil, funcionando como modificadores de rede e sendo responsáveis por romper a estrutura vítrea, diminuindo assim a viscosidade do vidro. O funil apresentou 29,47% de óxido de chumbo (PbO), não sendo encontrado nenhum percentual na tela. O PbO é usado no funil

para absorver os raios ultravioleta e raios-X, produzidos pelo canhão de elétrons que fica na parte traseira do tubo de raio catódico.

A tela apresenta quantidades significativas de óxido de bário (10,75 %) e óxido de estrôncio (7,71 %). Tais óxidos aumentam a transparência e resistência elétrica do vidro.

## CONCLUSÕES

Através dos resultados obtidos, pode-se concluir que os CRTs dos monitores do computador detêm grande potencial para serem reciclados, uma vez que os vidros dos CRTs apresentam grande quantidade de óxido de silício, o qual é responsável por formar a rede vítrea.

O estudo da reciclagem de monitores de computador torna-se importante, uma vez que cerca de 45% dos materiais existentes em um monitor são compostos de vidro, tratando-se de material 100% reciclável e que pode ser reaproveitado, diminuindo, assim, a quantidade de resíduos depositados no meio ambiente.

Com a utilização dos resíduos vítreos provenientes dos CRTs de computadores na obtenção de peças vítreas, contribui-se para a preservação ambiental, visto que encontra destinação adequada para estes resíduos que deixam de ser lançados diretamente na natureza e diminuindo assim a extração de minérios.

55° Congresso Brasileiro de Cerâmica, 29 de maio a 01 de junho de 2011, Porto e Galinhas, PE, Brasil

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos a realização deste trabalho à CAPES e ao programa de Pós-Graduação em Ciências e Engenharia de Materiais da UFCG.

## REFERÊNCIAS

(1) VEIT, H. M., BERNARDES, A. M., BERTUOL, D. A.P., OLIVEIRA, C. T. Utilização de processo mecânicos eletroquímicos para a reciclagem de cobre de sucatas eletrônicas. *Revista Escola de Minas - Metalurgia & Materiais*, v.16, n. 2, p.1-10, 2008.

55° Congresso Brasileiro de Cerâmica, 29 de maio a 01 de junho de 2011, Porto e Galinhas, PE, Brasil

(2) FERREIRA, J. M. B.; FERREIRA, A. C.; A sociedade da informação e o desafio da sucata eletrônica. *Revista de Ciências Exatas e Tecnologia*. V III, n. 3. p.157-170, 2008.

(3) ROSA, A. Fabricação de cada computador consome 1.800 quilos de materiais, 2007. Disponível em <<http://www.inovacaotecnologica.com.br>>. Acesso em 02 de abril de 2010.

(4) GONÇALVES, B. S. B. Impacto do Lixo Tecnológico no Ambiente, 2007. Disponível em <<http://www.impactodlixotecnologicoambiente>>. Acesso em 02 de abril de 2010.

(5) MÉAR, F.; YOT, P.; COMBON, M.; RIBES, M. The characterization of waste cathode-ray tube glass. *Journal Waste Management Society* v.26: Elsevier, 2006, p.1468-1476.

(6) MOSTAGHEL, S.; SAMUELSSON, C. Metallurgical use of glass fractions from waste electric and electronic, *journal Waste Management Society* v.30: Elsevier, 2010, p.140-144.

(7) DONDI, M.; GUARINI, G.; RAIMONDO, M.; ZANELLI, C. Recycling PC and TV waste glass in clay bricks and roof tiles. *Journal Waste Management Society* v.29: Elsevier, 2009, p.1945-1951.

(8) ANDREOLA, F.; BARBIERI, L.; CORRADI, A.; LANCELLOTTI, I.; FALCONE, R.; HRWGLICH, S. Glass-ceramics obtained by the recycling end life cathode ray tubes glasses. *Journal Waste Management Society* v.25, Elsevier, 2005, p.183-189.

(9) MARRON, C. E.; SUGURO, R.; MARIM, R. Historia, Evolução e Tecnologia dos Monitores. Instituto de Computação – Universidade Estadual de Campinas, Brasil, 2008. Disponível em: <[www.ic.unicamp.br](http://www.ic.unicamp.br)>. Acesso em 02 maio 2010.

(10) COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA A RECICLAGEM - CEMPRE. Disponível em: [WWW.cempre.com.br](http://WWW.cempre.com.br). Acesso em 10 de novembro de 2010.

ELECTRONIC WASTE: CHEMICAL CHARACTERIZATION GLASSES OF TUBES  
CATHODE RAYS WITH VIABILITY FOR RECYCLING  
ABSTRACT

Electronic waste, or e-waste, often makes incorrect destinations, which causes serious environmental problems. The aim of this study was to analyze the X-ray fluorescence to study the recycling technology for the glass of Cathode Ray Tubes or, popularly, "picture tubes", identified by the acronym CRT (Cathode Ray Tubes), which integrate computer monitors. It was observed that the glass screen and funnel analyzed have different chemical compositions. As the silicon oxide ( $\text{SiO}_2$ ), the largest component of these glasses percentage 59.89% and 48.63% respectively for the screen and funnel this oxide is responsible for forming the vitreous network. The study of recycling of computer monitors it is important, since about 45% of existing materials on a monitor are made of glass, since it is 100% recyclable and can be reused, thus reducing the amount of waste deposited in the environment.

Keywords: electronic waste, recycling, chemical analysis.

---

## **Electronic waste: Characterization of the glass of cathode ray tube computer for making decorative pieces by recycling**

N. M. O. Lima<sup>1, a</sup>, C. R. S. Morais<sup>1, b</sup>, L. M. R. Lima<sup>2, c</sup>,

A. V. Albuquerque<sup>3, d</sup>

<sup>1</sup> Materials Engineering Academic Unit, Federal University of Campina Grande, Rua Aprígio Veloso, Bodocongó 822, CEP 58109-900, Campina Grande, PB, Brazil

<sup>2</sup> Technology of Development Academic Unit, Federal University of Campina Grande, Rua Luiz Grande, S / N, CEP 58540-900, Sumé, PB, Brazil

<sup>3</sup> Chemistry Department, State University of Paraíba, Av. Baraúnas, 351, CEP 58429-500, Campina Grande, PB, Brazil

<sup>a</sup>normalimam@ig.com.br, <sup>b</sup>crislene@dema.ufcg.edu.br, <sup>c</sup>mergia@gmail.com.br, <sup>d</sup>alderiza.veras@hotmail.com

**Keywords:** glass residues, cathode ray tubes, characterization, recycling.

### **Abstract**

The vigorous industrialization of the modern world and the incorporation of new consumption habits of society made appears electronic waste. This work had as objective to collect and characterize vitreous residues originating from Cathode Ray Tubes or, popularly, "image tubes", identified for the acronym CRT, which integrate computers monitors that will be recycled in the production of handicrafts. For its characterization were used techniques: X-Ray Fluorescence, Granulometric Analysis, X-Ray Diffraction. After analyses it was observed that glasses of the screen and of the funnel presented different chemical compositions, being silicium oxide (SiO<sub>2</sub>) the component of larger percentage in these glasses, 59.89% and 48.63%, for screen and funnel, respectively. Funnel presented 29.47% of lead oxide (PbO) while this oxide is absent in the screen. Screen presents significant amounts of barium oxide (10.75%) and strontium oxide (7.71%). Vitreous samples X-ray diffractions of residues of the funnel and the screen are to each other similar, presenting an amorphous band that indicates silica presence, with absence of crystalline phases. Through the presented results can be concluded that computer monitors CRTs has potential for be recycled, because present great amounts of SiO<sub>2</sub>, oxide that forms the vitreous net.

### **Introduction**

When an used material, as a car, a newspaper, a computer, reaches the end of your life cycle, loses economical value and becomes a residue, [1].

Brazil produces 2.6 kilograms of electronic garbage for inhabitant, calculates equivalent to less than 1% of 50 million tons of electronic residues produced in the whole world a year. However, the electronic industry continues in expansion and, in 2007, being sold at the country 10.5 million of computers, number larger than one of sold televisions. Brazilian Association of the Electric and Electronic Industry - ABINEE, esteems a growth of sales of 28% for this year. Up to 2012 it is waited that the number of existent computers in the country bends and arrive to the mark of 100 million units. All the moment faster computers appear, call every time smaller, multimedia equipments with larger storage capacity and other technologies. All this would be wonderful if the destiny of great part of surpassed equipments doesn't be the environmental, [2]. Most of products generated by electronic discard can be implemented again in the productive cycle, [3].

Recycling of electronics, for instance, can reduce the need for extraction of virgin materials as iron, aluminum, fuels or precious metals as gold or silver, as well as indispensable toxicant ingredients to production of most of present electric components in those products. Among them, heavy metals as cadmium, mercury, lead and bromate, which leave lethal residues in the body, in the soil and in

watercourses. "The electronic ones were not drawn to be recycled and only the separation of materials is already expensive. Today neither Brazil nor Latin America have structure to recycle all your electronic" garbage, [4].

Called kinescopes, Cathode Ray Tubes or popularly "image tubes" are globally identified for the acronym CRT (Cathode Ray Tubes) and integrate monitors of computers and televisions. It was usually composed by three parts that are screen or panel (front) and funnel and neck (back), [5].

The compositions of cathode ray tubes glasses present differentiated chemical compositions, [6].

This work had as objective to collect and to characterize vitreous residues originating from Cathode Ray Tubes, identified for the acronym CRT (Cathode Ray Tubes), that integrate monitors of computers that will be recycled in the production of handmade pieces, because, through the presented results can be concluded that CRTs of computer monitors has potential for being recycled, since they present great amounts of  $\text{SiO}_2$ , oxide formador of vitreous net.

## Materials and Methods

### Materials

The main materials used in this research were vitreous residues from the cathode ray tube of computer monitors, which were removed of screen (panel) and funnel, besides the cellular concrete used in the preparation of molds, and kaolin as release agent.

**Vitreous Residue** - the vitreous residue was originating from screen and funnel of computers in disuse, originating from the selective collection accomplished by Cooperative of Workers of Recyclable Materials - COTRAMARE, in Campina Grande city/PB. These materials were separate for an electronics technician in agreement with the Illustration 1.



Figure 1 – Monitor disassembly.

**Cellular Concrete** - molds used in glass pieces production were made in blocks of cellular concrete, constituted by mixture of lime, cement, sands, aluminum powder and water (mortar).

**Kaolin** - kaolin used in this research was acquired in the local trade, having been used for isolation and covering of cellular concrete molds, besides facilitating demolding process.

### Methods

**X-Ray Fluorescence (XRF)** - Chemical analyses of glasses (panel and funnel) were accomplished by X-ray fluorescence by semiquantitative method, in powder form, under atmosphere to vacuum, 10 mm colimator. The used equipment was EDX-720 model, marks SHIMADZU belonging to Characterization Laboratory of Materials Engineering/CCT/UFCG.

**X-Ray Diffraction (XRD)** - X-ray diffraction analysis was accomplished on a X-ray diffractometer SHIMADZU, model XRD-6000 with radiation of  $\text{CuK}\alpha$  and wavelength  $\lambda=1.5406 \text{ \AA}$ , that operates with a voltage of 40KV with 30mA of current. The sample in powder form (#200) was analyzed in an interval of sweeping of  $2\theta$ , between 10 and 70 degrees, at a rate of  $2 \text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$ . This rehearsal was accomplished at Characterization Laboratory of Materials Engineering, of Materials Engineering Academic Unit, of Federal University of Campina Grande.

**Granulometric Distribution** - to the accomplishment of granulometric distribution, classification of particles technique was used by laser diffraction. Screen and funnel glasses were sifted in sieves of mesh 200, ABNT. The used equipment was a laser particle size distribution, model CILAS 1064 Liquid. These analyses were accomplished at the Characterization Laboratory of Materials Engineering/CCT/UFCG.

**Residues Vitreous Fusion** - to the glasses fusion was used a EDG oven, model FC-2 of the Professor Maria Claudia Silva Laboratory of Materials Engineering Academic Unit of UFCG.

## Results and Discussion

**X-Ray Fluorescence (XRF)** - In X-ray fluorescence analysis were identified the chemical compositions as % of present oxides in glasses from the screen and funnel of computer monitors. Table 1 presents chemical compositions results of screen and funnel glasses.

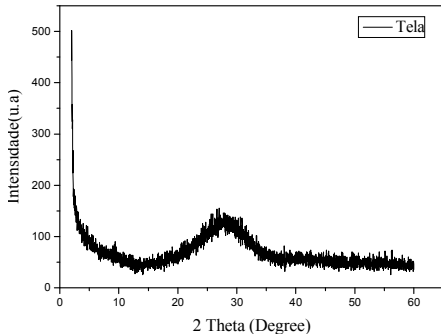
Table 1 - Chemical composition of glasses coming from screen and funnel (oxides%) existent in the glasses through the X-ray Fluorescence technique.

OXIDES	SCREEN GLASSES (%)	FUNNEL GLASS (%)
SiO <sub>2</sub>	59.89	48.63
BaO	10.75	0.35
SrO	7.71	0.28
K <sub>2</sub> O	6.92	7.96
Na <sub>2</sub> O	6.64	5.15
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.20	2.65
ZrO <sub>2</sub>	1.97	0.00
CaO	1.43	3.62
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1.28	0.00
Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.11	0.00
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.06	0.00
Rb <sub>2</sub> O	0.02	0.06
PbO	0.00	29.47
MgO	0.00	1.79
ZnO	0.0	0.02
CuO	0.00	0.02

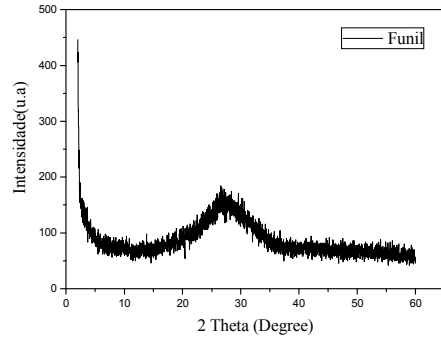
Source: Research data.

It can be observed that screen and funnel glasses analyzed present different chemical compositions. Being silicon oxide (SiO<sub>2</sub>) the component of larger percentile in these glasses 59.89% and 48.63% for screen and funnel, respectively. That oxide is responsible for forming the vitreous net. Aluminum oxide (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), stabilizing and used for increase the glass resistance, was found 3.20% in the screen glass and 2.65% in the funnel glass. Alkaline metals oxides and earthy alkaline metals which are sodium, calcium and potassium oxides were found on screen and funnel glasses. Those oxides are net modifier and responsible for breaking the vitreous structure, reducing the glass viscosity. Funnel presented 29.47% of lead oxide (PbO) while this oxide is absent in the screen. Lead oxide is used in the funnel to absorb ultraviolet rays and ray-X that are produced by electrons cannon that is on the back of cathode ray tube. Screen presents significant amounts of barium oxide (10.75%) and strontium oxide (7.71%), as its increase glass transparency and electric resistance.

**X-Ray Diffraction** - through diffraction curves of the samples of vitreous residues samples from screen and funnel, it is observed similar results, with absence of crystalline phases, presenting an amorphous typical band around 27°, that is originating from presence of silica in the samples. Figure 2 and 3 present the samples diffractograms of vitreous residues samples from screen and funnel.

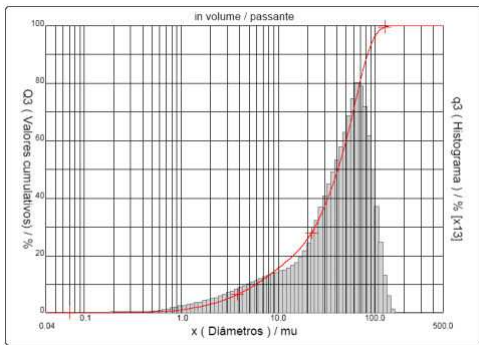


**Figure 2 – X-Ray Diffractogram of screen vitreous residues.**

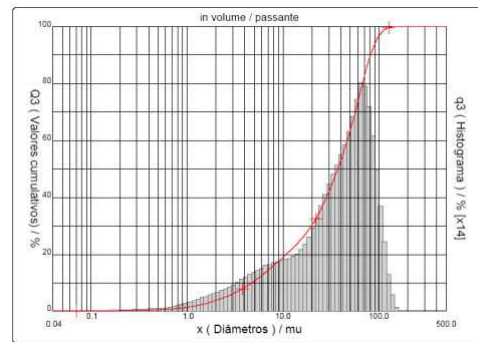


**Figure 3 – X-Ray Diffractogram of funnel vitreous residues.**

**Granulometric Distribution** - Screen and funnel vitreous residues present a fine particles distribution. Figures 4 and 5 shown similar, with particles larger than 100 µm, with average particle size for 10, 50 and 90% diameters of 5.87, 41.20 and 83.38 µm, respectively, being those values the same for sample coming of funnel and screen. Figures 4 and 5 present granulometric curves screen and funnel vitreous residues, respectively.



**Figure 4 – Granulometric distribution of screen vitreous residues.**



**Figure 5 – Granulometric distribution of funnel vitreous residues.**

**Vitreous Residues Fusion** - Vitreous residues samples from screen and funnel before and after fusion were weighed and was verified that there is not mass loss, once the initial weight of the residues was the same weight after fusion proving, according to literature, says that 1 kg of glass can be transformed infinite times in 1 kg of glass. Tables 2 and 3 present results of the samples that were submitted to fusion with your respective times, temperatures and visual observations.

Table 2. Parameters used to fusion – Screen vitreous residues

MESH - ABNT	TEMPERATURE (°C)	TIME (min)	VITRIFICATION
200	700	60	No
10	750	60	No
10	750	40	No
40	800	40	No
40	800	30	No
10	850	30	Yes
40	850	30	Yes

According to Table 2 it is verified that at the temperature of 850°C occurred total glazing with the vitreous residues from computer screen. It didn't happen any problem with relationship to



demolding of the pieces, however there is introduced some kaolin, that can be removed during the finishing process.

Table 3. Parameters used to fusion – Funnel vitreous residues

MESH ABNT	TEMPERATURE (°C)	TIME (min)	VITRIFICATION
200	700	60	No
10	750	60	No
40	750	60	No
10	750	40	No
40	750	40	No
10	800	40	No
40	800	40	No
10	800	30	No
40	800	30	No
10	800	30	No
40	800	30	No

In Table 3 is verified that total glazing of funnel vitreous residues didn't happen in none of the temperatures. It was also observed that didn't happen any problem with relationship to the demolding of the pieces. However, its introduced some kaolin, which can be removed during the samples finishing process according to Figure 6.



Figure 6 – Pieces produced by fusion. Source: Research data.

## Conclusions

Through the presented results it can conclude that monitors CRTs of the computer has potential to be recycled.

The use of vitreous residues from CRTs of the computers in vitreous pieces obtaining, contribute enviromentally on two factors, finding destination to residues that can be thrown directly in the nature and reducing minerals extraction.

## References

- [1] VEIT, H. M., BERNARDES, A. M., BERTUOL, D. A.P., OLIVEIRA, C. T. **Utilização de processo mecânicos eletroquímicos para a reciclagem de cobre de sucatas eletrônicas**. Revista escola de minas - Metalurgia & Materiais, v.16, p.1-10, n 2, Ouro Preto, abril/junho 2008.
- [2] GONÇALVES, B. S. B. **Impacto do Lixo Tecnológico no Ambiente**, 2007. Disponível em <<http://www.impactodlixotecnologicoambiente>>. Acesso em 02 de abril de 2010.
- [3] CARVALHO, V. **Do lixo eletrônico para a sala de aula**. 13 jan. 2010. Disponível em: <<http://www.rts.org.br/noticias/destaque-1/do-lixo-eletronico-para-a-sala-de-aula>>. Acesso em: 15 jan. 2010.
- [4] ROSA, A. **Fabricação de cada computador consome 1.800 quilos de materiais**, 2007. Disponível em< <http://www.inovacaotecnologica.com.br>>. Acesso em 02 de abril de 2010.
- [5] MÉAR, F.; YOT, P.; COMBON, M.; RIBES, M. **The characterization of waste cathode-ray tube glass**. journal Waste Management Society- Elsevier, v.26, p.1468-1476, 2006.

[6] ANDREOLA, F.; BARBIERI, L.; CORRADI, A.; LANCELLOTTI, I.; FALCONE, R.; HRWGLICH, S. **Glass-ceramics obtained by the recycling end life cathode ray tubes glasses.** journal Waste Management Society- Elsevier, Italy, v.25, p.183-189, December 2005.

---



## **Lixo Tecnológico da Universidade Federal de Campina Grande – Uma Proposta de Gestão e Gerenciamento**

**Norma Maria Silva de Oliveira<sup>1</sup>, Alderiza Veras Albuquerque<sup>1</sup>, Valdenia de Sousa Porto, Fátima Roneiva Alves Fonseca<sup>1</sup>, Crislene Rodrigues da Silva Morais<sup>1</sup>, Valdileide de Sousa Lima Borbosa<sup>2</sup>, Emmanuelle Rodrigues Leão<sup>2</sup>.**

<sup>1</sup>Unidade Acadêmica de Engenharia Materiais - Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, Av. Aprígio Veloso, 882, CEP 58.429-140, Bodocongó, Campina Grande – PB. E-mail: [normalimam@ig.com.br](mailto:normalimam@ig.com.br)

<sup>2</sup>Unidade Acadêmica de Desenho Industrial - Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, Av. Aprígio Veloso, 882, CEP 58.429-140, Bodocongó, Campina Grande – PB. E-mail: [vald-leid.777@hotmail.com](mailto:vald-leid.777@hotmail.com)

### **Junk Devices, Federal University of Campina Grande - A Proposal for Administration and Management**

Every year Brazil produces about 30 tons of electronic devices, according to the Brazilian Association of Electrical and Electronics Industry (Abinee). The Electrical and Electronic Equipment (EEE) after use, almost always end in deposits or dumps, where they release substances harmful to human health such as lead, chromium, mercury and others. The rate of appearance of new machines is proportional to the drop, because the manufacture of fastest computers with greater storage capacity and new technologies that would be wonderful if all the destination of most of the outdated equipment was not the environment. In this context, this study aimed to investigate on the fate of obsolete computers in the Federal University of Paraíba - UFCG. UFCG obsolete Computers when some parts are utilized to replace damaged parts on other computers, when not, they are referred to a university hall where they are stacked without any use, such equipment that are fallen into the public property could be donated to schools, NGOs, associations, among other charitable institutions, most due to the bureaucracy that still exists in public enterprises, the same with the passage of time goes to the landfill. The university as a technology center should have projects aimed at dismantling, reuse and recycling of EEE when no longer work.

Key words: junk devices, computers, recycling

## 1. Introdução

A cada ano o Brasil produz cerca de 30 mil toneladas de aparelhos eletrônicos, segundo a Associação Brasileira de Indústria Elétrica e Eletrônica (Abinee).

Os Equipamentos Elétricos e Eletrônicos (EEE) depois de utilizados quase sempre terminam em depósitos ou lixões, onde liberam substâncias nocivas à saúde humana como chumbo, cromo, mercúrio e outros. Além dos metais pesados que causam danos a saúde dos seres humanos, temos os metais valiosos como o **ouro, a prata e o paládio**, os computadores contêm **cobre, estanho, gálio, índio** e mais um família inteira de metais únicos e indispensáveis e, portanto, de altíssimo valor. O **índio**, um subproduto da mineração do zinco, por exemplo, é essencial na fabricação dos monitores de tela plana, ou LCD, e de telefones celulares. Ele está presente em mais de 1 bilhão de equipamentos fabricados todos os anos [1].

O simples descarte dos equipamentos eletrônicos tecnicamente obsoletos representa um desperdício enorme de recursos naturais, uma vez que para fabricação de um computador são precisos de 240 quilos de combustíveis fósseis, 22 quilos de produtos químicos e 1.500 litros de água [1].

Todos os metais citados provenientes do lixo ambiental causam um grande impacto ambiental, pois a todo o momento surgem computadores mais velozes, equipamentos de multimídia com maior capacidade de armazenagem e outras tecnologias. Tudo isso seria maravilhoso se o destino de grande parte dos equipamentos ultrapassados não fosse o ambiente [2].

## 2. Metodologia

### Gestão e gerenciamento do lixo tecnológico

No Brasil ainda não há legislação que controle a emissão e recepção de lixo tecnológico. Há uma resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama) que controla a destinação final de pilhas e baterias. Não é obedecida porque não tem caráter de lei.

Na cidade de Campina Grande não existe um local para a destinação do lixo eletrônico, daí a população fica sem saber que destino dar a esse tipo de resíduo, presente em quase todos os lares.

A UFCG como um pólo tecnológico deveria ter projetos voltados à desmontagem, reaproveitamento e reciclagem dos EEE quando não mais funcionarem, uma vez que a quantidade desses equipamentos em desuso é grande, ficando amontoados em um galpão (Fig. 1), esperando por leis para o gerenciamento destes resíduos.



Figura 1 – Lixo tecnológico em desuso da UFCG.

### Vantagens da reciclagem

**Redução de custos** - O reaproveitamento de materiais utilizados em equipamentos eletrônicos reduz a demanda de metais como ferro e alumínio. Prata e ouro também são utilizados em circuitos eletrônicos.

**Menor contaminação** - Cai a eliminação na natureza de metais tóxicos – como cádmio, mercúrio, chumbo e bismuto –, que são utilizados nos circuitos impressos. Estes elementos provocam intoxicações em homens e animais. Veja tabela 1 os materiais recicláveis de um computador com seus respectivos índices.

**Tabela 1:** Materiais presentes nos Computadores

<b>Materiais</b>	<b>%</b>
Plásticos	40
Metais	37
Dispositivos eletrônicos	5
borrachas	1

Fonte – Pesquisa direta

### 3. Conclusão

Diante do expostos pode-se dizer que para uma política de melhoramento ambiental gestores públicos e comunidade precisam criar espaços e programas adequados para coordenar o processo de coleta, identificação, tratamento, reciclagem e disposição final dos componentes do lixo de EEE.

## Referências

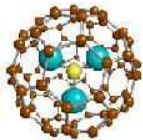
[1] Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica – ABINEE [www.abinee.org.br](http://www.abinee.org.br)  
Acesso em 28 de março de 2010.

[2] Rosa, A. **Fabricação de cada computador consome 1.800 quilos de materiais.**  
<http://www.inovacaotecnologica> Acesso em 25 de janeiro de 2010.

[3] Gonçalves, B. S. B. **Impacto do Lixo Tecnológico no Ambiente.**  
<http://www.impactodlixotecnologiconoambiente> Acesso em 28 de janeiro de 2010.

[4] Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA.  
[http://www.lixoeletronico.org/blog/resolucaoconam\\_a-sobre-os-residuos-eletronicos](http://www.lixoeletronico.org/blog/resolucaoconam_a-sobre-os-residuos-eletronicos) Acesso em 15 de fevereiro de 2010.

---



# Lixo eletrônico: caracterização do vidro do tubo de raios catódicos de computadores para reciclagem

N. M. O. Lima<sup>1</sup>; C. R. S. Moraes<sup>1</sup>; L. M. R. Lima<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Unidade Acadêmica de Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Campina Grande, Rua Aprígio Veloso, 822 Bodocongó, CEP 58109-900, Campina Grande, PB, Brasil

<sup>2</sup> Unidade Acadêmica de Tecnologia do Desenvolvimento, Universidade Federal de Campina Grande, Rua Luiz Grande, S/N, CEP 58540-900, Sumé, PB, Brasil

## Resumo:

Conhecidos como cinescópios, os Tubos de Raios Catódicos ou popularmente “tubos de imagem” são identificados mundialmente pela sigla CRT (*Cathode Ray Tubes*) e integram os monitores de computadores e televisores. Normalmente são compostos por três partes: tela ou painel (parte da frente), funil e pescoço (parte de trás). Os vidros que compõem os monitores de computador ou de televisão contêm elementos perigosos, tais como chumbo, estrôncio e bário. São vidros completamente amorfos e apresentam uma distribuição granulométrica com partículas finas. O estudo da reciclagem de monitores de computador torna-se importante visto que cerca de 45% dos materiais existente em um monitor são compostos de vidro. Trata-se de um material 100% reciclável e que pode ser totalmente reaproveitado e/ou reciclado, diminuindo assim a quantidade de resíduos depositados no meio ambiente. Utilizando as técnicas de Fluorescência de raios-X (FRX), Difração de raios-X (DRX) e Distribuição granulométrica, as amostras de resíduos provenientes dos CRTs de monitores de computadores foram caracterizadas, com o objetivo de serem propostas alternativas tecnológicas e ambientais para a reciclagem destes. Concluiu-se que os CRTs dos monitores do computador detêm grande potencial para serem reciclados, uma vez que os vidros dos CRTs apresentam grande quantidade de óxido de silício, componente essencial para a formação da rede vítrea.

**Palavras-chave:** caracterização; tubos de raios catódicos; vidros; reciclagem.

---

## Abstract:

Known as kinescopes, Cathode Ray Tubes or popularly "picture tubes" are globally identified for CRT (Cathode Ray Tubes) and integrate the monitors of computers and televisions. They are usually composed by three parts: screen or panel (front), funnel and neck (back). The glasses that compose the computer or television monitors contain dangerous elements, such as lead, strontium and barium. They are completely amorphous glasses and present a granulometric distribution with fine particles. The study of computer monitors recycling becomes important sees that about 45% of materials in a monitor are composed of glass. It is treat of a material 100% recyclable and that can be totally reused and/or recycled, reducing the amount of residues deposited in the environment. Using techniques of X-Ray Fluorescence (FRX), X-Ray Diffraction (DRX) and Granulometric Distribution, samples of residues originate from CRTs of computers monitors were characterized, with the objective of technological and environmental alternatives be proposed to their recycling. It was concluded that monitors of the computer CRTs present great potencial to be recycled, once that CTRs glasses present great amount of silicium oxide, essential component to the formation of vitreous net.

**Keywords:** characterization; Cathode Ray tubes; glass; recycling.

\*E-mail: [normalimam@ig.com.br](mailto:normalimam@ig.com.br)(N.M.O.Lima)

---

## 1. Introdução

Quando um material usado (carro, jornal ou computador, por exemplo), alcança o fim do seu ciclo de vida, perde valor econômico e torna-se um resíduo [1].

Lixo eletrônico é a denominação genérica para todo tipo de descarte de equipamento eletroeletrônico. Com o aumento contínuo na produção e consumo de eletrônicos, a quantidade desse tipo de lixo gerado a cada ano torna-se um problema cada vez maior. O lixo eletrônico não pode ser descartado junto com o lixo comum, pois o grande número de elementos tóxicos pode contaminar o meio ambiente. Além disso, qualquer eletrônico é, por definição, um objeto recheado de conhecimento aplicado e, muitas vezes, descartá-lo é desperdiçar esse conhecimento [2].

O problema do lixo eletrônico começa com a produção e o consumo. Com o auxílio da mídia especializada, a indústria de eletroeletrônicos se esforça para criar a ilusão de obsolescência e, com isso, convencer as pessoas de que torna-se necessário trocar seus computadores, celulares, câmeras e outros equipamentos em períodos cada vez mais curtos. Além disso, a indústria também adota práticas predatórias no processo produtivo, tais como mão de obra precária, uso de matéria primas extraídas sem levar em consideração os impactos social e ambiental [3].

A todo o momento surgem computadores mais velozes, telefones cada vez menores, equipamentos de multimídia com maior capacidade de armazenagem e outras tecnologias. Tudo isso seria maravilhoso se o destino de grande parte dos equipamentos ultrapassados não fosse o ambiente [4].

Conhecidos como cinescópios, os Tubos de Raios Catódicos ou popularmente “tubos de imagem” são identificados mundialmente pela sigla CRT (*Cathode Ray Tubes*) e integram os monitores de computadores e televisores. Normalmente composto por três partes que são: tela ou painel (parte da frente), funil e pescoço (parte de trás) [5].

Existem caminhos diferentes para a reciclagem do vidro do CRT: o circuito fechado de reciclagem e o circuito aberto de reciclagem [6]. Existem, também, várias aplicações com potencial para os vidros do CRT, tais como tijolos e telhas, fabricação de cerâmica, em espuma de vidro para isolamento, fabricação de novos CRTs e como material na fundição de metais. No circuito fechado de reciclagem, os CRTs são utilizados para produção de novos CRTs, enquanto que, no circuito aberto de reciclagem os vidros do CRTs, são utilizados para outras aplicações e produção de outros produtos [7, 8, 9].

Os vidros que compõem os monitores de computador ou de televisão contêm elementos perigosos (chumbo, estrôncio e bário) e pesam entre 45% e 85% do peso total de um monitor [7], tendo os resíduos destes vidros um grande potencial de reaproveitamento e de reciclagem.

A análise química dos vidros dos tubos de raios catódicos indica que este material apresenta composições químicas completamente diferentes [9].

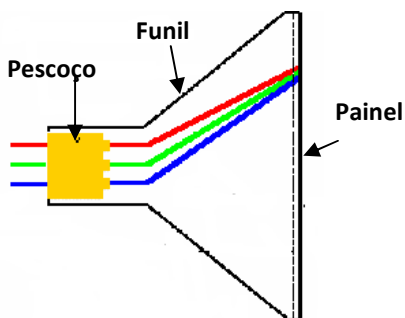


Figura 1 - Esquema do CRT [9]

Diante do exposto, este trabalho objetiva a caracterização dos resíduos vítreos provenientes dos CRTs dos monitores de computadores, visando propor alternativas tecnológicas e ambientais para a reciclagem dos mesmos.

## 2. Experimental

### 2.1 Materiais



Para realização da pesquisa foram utilizados os resíduos vítreos provenientes do tubo de raio catódico de monitores de computadores, sendo estes retirados da tela (painel) e do funil. O resíduo vítreo foi proveniente de computadores em desuso, oriundos da coleta seletiva realizada pela Cooperativa de Trabalhadores de Materiais Recicláveis – COTRAMARE, no município de Campina Grande/PB.

## 2.2 Métodos

Com o objetivo de estudar as propriedades espectroscópicas e morfológicas dos Tubos de Raios Catódicos (CRTs), foram utilizadas as seguintes técnicas de caracterização: Fluorescência de raios-X (FRX), Difração de raios-X (DRX) e Distribuição granulométrica.

### 2.2.1 Fluorescência de raios-X (FRX)

As análises químicas dos vidros (painel e funil) foram realizadas por fluorescência de raios-X pelo método do semiquantitativo, em forma de pó, sob atmosfera a vácuo, colimador 10 mm. O equipamento utilizado foi o modelo EDX-720 marca SHIMADZU pertencente ao Laboratório de Caracterização de Engenharia de Materiais/CCT/UFCG.

### 2.2.2 Difração de raios-X (DRX)

A análise de difração de raios-X foi realizada em um equipamento difratômetro de raios-X da SHIMADZU, modelo XRD-6000 com radiação de  $\text{CuK}\alpha$  e comprimento de onda  $\lambda=1,5406 \text{ \AA}$ , que opera a uma voltagem de 40KV com 30mA de corrente. A amostra em forma de pó (#200) foi analisada em um intervalo de varredura de  $2\theta$ , entre 10 e 70 graus, a uma taxa de  $2^\circ\text{C}/\text{min}$ .

Este ensaio foi realizado no Laboratório de Caracterização de Materiais, da Unidade Acadêmica de Engenharia de Materiais, da Universidade Federal de Campina Grande.

### 2.2.3 Distribuição granulométrica

Para a realização da distribuição granulométrica, foi utilizada a técnica de classificação de partículas por difração a laser. Os vidros da tela e do funil foram peneirados em peneiras de malha 200, ABNT. O equipamento utilizado foi um Granulômetro a laser, modelo CILAS 1064 Líquido. Estas análises foram realizadas no Laboratório de Caracterização de Engenharia de Materiais/CCT/UFCG.

## 3. Resultados e discussão

### 3.1 Fluorescência de raios-X (FRX)

Na análise de Fluorescência de raios-X foram identificadas as composições químicas em porcentagem (%) de óxidos presentes nos vidros provenientes da tela e do funil dos monitores de computador.

A Tabela 1 apresenta os resultados das composições químicas dos vidros da tela e do funil.

**Tabela 1.** Composição Química dos vidros provenientes da tela e do funil (óxidos, %), existentes nos vidros, por meio da técnica de Fluorescência de raios-X

ÓXIDOS	VIDROS TELA (%)	VIDROS FUNIL (%)
$\text{SiO}_2$	59,89	48,63
BaO	10,75	0,35
SrO	7,71	0,28
$\text{K}_2\text{O}$	6,92	7,96
$\text{Na}_2\text{O}$	6,64	5,15
$\text{Al}_2\text{O}_3$	3,20	2,65
$\text{ZrO}_2$	1,97	0,00
CaO	1,43	3,62

P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1,28	0,00
Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,11	0,00
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,06	0,00
Rb <sub>2</sub> O	0,02	0,06
PbO	0,00	29,47
MgO	0,00	1,79
ZnO	0,00	0,02
CuO	0,00	0,02

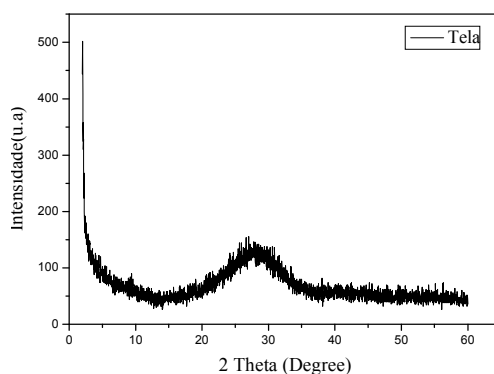
**Fonte:** Dados da pesquisa.

Pode-se observar que os vidros da tela e do funil analisados apresentam composições químicas diferentes, sendo o óxido de silício (SiO<sub>2</sub>), o componente de maior percentual nestes vidros (59,89% e 48,63% para tela e funil, respectivamente). O óxido de silício é o responsável por formar a rede vítrea. O óxido de alumínio (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) é estabilizante e usado para da resistência ao vidro e o resultado da análise mostrou um percentual de 3,20% no vidro de tela e 2,65% no vidro de funil. Os óxidos dos metais alcalinos e metais alcalinos terrosos (óxidos de sódio, cálcio, e potássio) foram encontrados nos vidros da tela e do funil, funcionando como modificadores de rede e sendo responsáveis por romper a estrutura vítrea, diminuindo assim a viscosidade do vidro. O funil apresentou 29,47% de óxido de chumbo (PbO), não sendo encontrado nenhum percentual na tela. O PbO é usado no funil para absorver os raios ultravioleta e raios-X, produzidos pelo canhão de elétrons que fica na parte traseira do tubo de raio catódico.

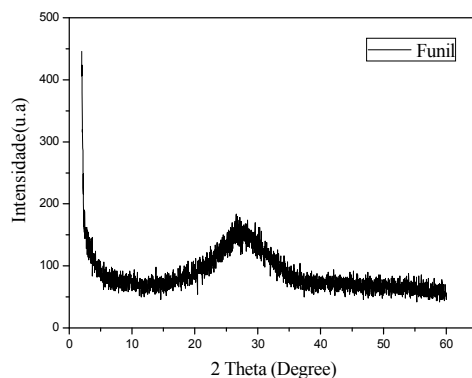
A tela apresenta quantidades significativas de óxido de bário (10,75 %) e óxido de estrôncio (7,71 %). Tais óxidos aumentam a transparência e resistência elétrica do vidro.

### 3.2 Difração de raios-X

As Figuras 2 e 3 apresentam os Difratomogramas das amostras dos resíduos vítreos provenientes da tela e do funil.



**Figura 2:** Difrátograma de raios-X do resíduo vítreo proveniente da tela.



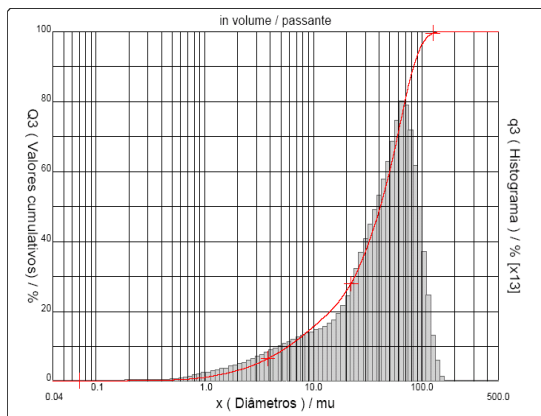
**Figura 3:** Difrátograma de raios-X do resíduo vítreo proveniente do funil.

Através das curvas difratométricas das amostras dos resíduos vítreos provenientes da tela e do funil, observa-se que os resultados mostraram-se similares para ambos os resíduos, com ausência de

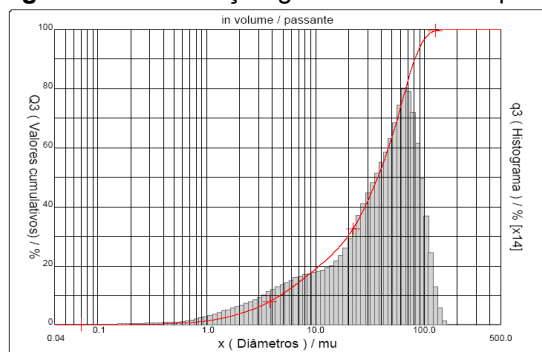
fases cristalinas, apresentando uma banda típica amorfa em torno de 27°, proveniente da presença de sílica nas amostras.

### 3.3 Distribuição granulométrica

As Figuras 4 e 5 apresentam as curvas granulométricas dos resíduos vítreos da tela e do funil, respectivamente.



**Figura 4** – Distribuição granulométrica de partículas dos resíduos vítreos do funil.



**Figura 5** – Distribuição granulométrica de partículas dos resíduos vítreos da tela.

Os resíduos vítreos da tela e do funil apresentam uma distribuição de partículas finas. As Figuras 5 e 6 mostraram-se semelhantes, com partículas maiores que 100  $\mu\text{m}$ , tendo como tamanho médio das partículas para 10, 50 e 90%, e diâmetros de 5,87, 41,20 e 83,38  $\mu\text{m}$ , respectivamente, sendo esses valores iguais para as amostras provenientes do funil e da tela.

## 4. Conclusões

Através dos resultados obtidos, pode-se concluir que os CRTs dos monitores do computador detêm grande potencial para serem reciclados, uma vez que os vidros dos CRTs apresentam grande quantidade de óxido de silício, o qual é responsável por formar a rede vítrea.

Com a utilização dos resíduos vítreos provenientes dos CRTs dos computadores para a obtenção de peças vítreas, contribui-se para a preservação ambiental visto que encontra-se destinação para os resíduos que poderiam ser lançados diretamente na natureza e diminui-se a extração de minérios.

## Agradecimentos

Agradecemos a realização deste trabalho à CAPES e ao programa de Pós-Graduação em Ciências e Engenharia de Materiais da UFCG.

## Referências

- [1] VEIT, H. M., BERNARDES, A. M., BERTUOL, D. A.P., OLIVEIRA, C. T. **Utilização de processo mecânicos eletroquímicos para a reciclagem de cobre de sucatas eletrônicas**. Revista escola de minas - Metalurgia & Materiais, v.16, p.1-10, n 2, Ouro Preto, abril/junho 2008.
- [2] FERREIRA, J. M. B.; FERREIRA, A. C.; **A sociedade da informação e o desafio da sucata eletrônica**. Revista de Ciências Exatas e Tecnologia. V III, n. 3. P.157-170, 2008.
- [3] ROSA, A. **Fabricação de cada computador consome 1.800 quilos de materiais, 2007**. Disponível em <<http://www.inovacaotecnologica.com.br>>. Acesso em 02 de abril de 2010.
- [4] GONÇALVES, B. S. B. **Impacto do Lixo Tecnológico no Ambiente**, 2007. Disponível em <<http://www.impactodlixotecnologiconoambiente>>. Acesso em 02 de abril de 2010.
- [5] MÉAR, F.; YOT, P.; COMBON, M.; RIBES, M. **The characterization of waste cathode-ray tube glass**. journal Waste Management Society- Elsevier, v.26, p.1468-1476, 2006.
- [6] MOSTAGHEL, S.; SAMUELSSON, C. **Metallurgical use of glass fractions from waste electric and electronic**, journal Waste Management Society- Elsevier, v.30, p.140-144, 2010.
- [7] DONDI, M.; GUARINI, G.; RAIMONDO, M.; ZANELLI, C. **Recycling PC and TV waste glass in clay bricks and roof tiles**. Journal Waste Management Society- Elsevier, Italy, v.29, p.1945-1951, Jan.2009.
- [8] ANDREOLA, F.; BARBIERI, L.; CORRADI, A.; LANCELLOTTI, I. ;FALCONE, R.; HRWGLICH, S. **Glass-ceramics obtained by the recycling end life cathode ray tubes glasses**. journal Waste Management Society- Elsevier, Italy, v.25, p.183-189, December 2005.
- [9] MARRON, C. E.; SUGURO, R.; MARIM, R. **Historia, Evolução e Tecnologia dos Monitores**. Instituto de Computação – Universidade Estadual de Campinas, Brasil, 2008. Disponível em: <[www.ic.unicamp.br](http://www.ic.unicamp.br) >. Acesso em 02 maio 2010.
-



**CAPACITAÇÃO EM GESTÃO E EMPREENDEDORISMO SOLIDÁRIO  
PARA OS CATADORES DE RESÍDUOS VÍTREOS DE CAMPINA  
GRANDE.**

Norma Maria Silva de Oliveira<sup>1</sup>; Crislene Rodrigues da Silva Morais<sup>2</sup>; Michelle Félix da Silva<sup>3</sup>;  
Rafaella Lima de Meneses<sup>3</sup>; Edna Larissa da Silva<sup>4</sup>

Embora exista grande convergência de opiniões sobre ser a economia solidária a forma por excelência para a superação do atual desemprego, derivado de certos aspectos da globalização, existem dificuldades para sua real implementação. A mais importante é o desafio do desenvolvimento da capacidade empreendedora dos trabalhadores. Em Campina Grande, a atividade de segregação dos materiais é feita ainda de forma desordenada. A catação é realizada pelas ruas da cidade e no lixão. Neste, os catadores são expostos a condições precárias de trabalho, sem os devidos equipamentos e com o perigo de contrair doenças provocadas por vetores transmissores como insetos e roedores comuns nestes lugares. Este trabalho tem por objetivo: capacitar um grupo de catadores da Unidade de Beneficiamento de Materiais Vítreos, do bairro do mutirão através de cursos, palestras e oficinas sobre cooperativismo, autogestão, desenvolvimento econômico solidário, visando promover a inclusão e melhoria nas condições de trabalho dos catadores de resíduos sólidos. As atividades do projeto foram desenvolvidas em 04 etapas distintas: formação - apresentando as noções básicas de organização do trabalho, mostrando-os através de cursos, palestras e estudo de caso o que é cooperativismo e a sua finalidade mercantil, diagnóstico - levantar e confirmar dados acerca da realidade de vida destes catadores, capacitação - cursos, palestras e oficinas que tiveram como enfoque, gestão de empreendedorismo auto-sustentáveis e por fim registro e divulgação. Com isso, foi possível a formação dos catadores quanto ao cooperativismo e a sua aplicação na vida em grupo, a formação para gestão de empreendimentos auto-sustentáveis, além da identificação entre os catadores dos que possuem habilidades voltadas ao artesanato de vidro.

**Palavras-chave:** catadores, inclusão social, materiais vítreos.

<sup>1</sup> Professora MSc, Doutoranda em Ciência e Engenharia de Materiais do Centro de Ciências e Tecnologia, campus Campina Grande; E-mail: normalimam@ig.com.br

<sup>2</sup> Professora Doutora do Departamento de Engenharia de Materiais do Centro de Ciências e Tecnologia, campus Campina Grande; E-mail: crislene@dema.ufcg.edu;

<sup>3</sup> Estudante do Curso de Engenharia de Materiais do Departamento de Engenharia de Materiais do Centro de Ciências e Tecnologia, campus Campina grande; E-mail: mifelixsilva@hotmail.com; rafacobain@gmail.com

<sup>4</sup> Graduada em Engenharia Civil do Centro Tecnológico de Recursos Naturais, campus Campina Grande; E-mail: edlara4@yahoo.com.br

**0181 | Recycling of waste vitreous  
of the type in soda-lime in  
manufacturing parts decorative crafts**

*Norma Maria Silva de Oliveira<sup>1</sup>,  
Fátima Roneiva Alves Fonseca<sup>1</sup>,  
Crislene Rodrigues da Silva Morais<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Departamento de Ciências e engenharia de  
materiais-PPGCMat-UFCG, Rua Aprígio Veloso, 882  
Campina Grande – PB, CEP 58109-970

This paper presents a comparative study on the use of glassy residue on clothing for decorative craft pieces using the technique fusing, these residues represent a huge loss to the environment, since glass is not biodegradable, thus requiring a proposal for a technological reuse of this material is discarded at the landfill in the city of Campina Grande – PB. Against the requirement not to add other substances with waste vitreous using simple technologies and low-cost, aiming at saving energy and raw materials for the production of these pieces. The glassy residue used for this manufacture will be called a common glass or soda-lime glass.

**Keywords:** *fusing, residues of glass, recycling*