



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO DE HIDRAÚLICA E SANEAMENTO
MESTRADO EM ENGENHARIA DE RECURSOS HÍDRICOS E AMBIENTAL

MINIMIZAÇÃO E RECICLAGEM
DE
LODO GALVÂNICO E
POEIRA DE JATEAMENTO

SIMONE CANFIELD BORGIO

CURITIBA

2005

SIMONE CANFIELD BORGIO

**MINIMIZAÇÃO E RECICLAGEM
DE
LODO GALVÂNICO E POEIRA DE JATEAMENTO**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre no Programa de Pós Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental do Setor de Ciências Exatas, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Uivaldo Pawlovsky
Co-orientador: PhD Vsevolod Mymrine

CURITIBA

2005

Agradeço

A Deus por sua inesgotável Graça que fez possível ultrapassar o desafio que este curso de mestrado representou para minha vida nestes últimos anos.

Ao meu marido pela sua paciência,
As minhas filhas pelo carinho e compreensão,
A minha mãe pela colaboração,

Aos professores do Departamento de Hidráulica e Saneamento que acreditaram em mim,

Aos meus colegas de curso que me apoiaram e incentivaram,

Ao Professor Dr. Haroldo Ponte, que permitiu a realização dos testes laboratoriais no Laboratório de Tecnologia Ambiental (LTA),

Ao Professor Dr. José Manuel e técnicos do Laboratório de Análises de Minerais e Rochas (LAMIR) que possibilitaram a execução das análises químicas e mineralógicas,

Ao estagiário Cristiano Biscaia pela ajuda durante a confecção dos corpos de prova.

Em especial, agradeço aos meus orientadores Professor Dr. Uivald Pawlovsky pela ajuda no desenvolvimento do material descritivo e Professor PhD Vsevolod Myrmine pelas sugestões, idéias e pelo acompanhamento nas etapas laboratoriais e conclusivas deste trabalho.

Sou imensamente grata.

Simone Canfield Borgo

“A gestão do meio ambiente está diretamente vinculada à participação, à pesquisa científica..., aos saberes acumulados, às sabedorias de vida e aos valores éticos, como estratégias fundamentais para promover a sustentabilidade das sociedades... ” Tristão

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE QUADROS	x
LISTA DE TABELAS	xi
LISTA DE SIGLAS	xii
RESUMO	xiii
ABSTRACT	xiv
1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO DA LITERATURA	3
2.1 MEIO AMBIENTE E SUSTENTABILIDADE.....	3
2.2 GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS.....	4
2.2.1 Produção Mais Limpa.....	8
2.2.2 Prevenção da Poluição/ Minimização de Resíduos.....	11
2.3 RECICLAGEM.....	12
2.3.1 Segurança na Reciclagem ou Disposição Final.....	13
2.4 INDÚSTRIA GALVÂNICA.....	14
2.4.1 Comportamento Ambiental no Paraná no Setor Galvanotécnico.....	15
2.4.2 Situação Atual das Indústrias do Setor Galvânico.....	16
2.5 PROCESSOS DE TRATAMENTO DE SUPERFÍCIES.....	20
2.6 RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS DO SETOR GALVANOTÉCNICO.....	20
2.6.1 Lodo Galvânico.....	21
2.6.2 Poeira de Jateamento.....	22
2.6.3 Areia de Fundição.....	24
2.6.4 Argila Taguá.....	24
1.7 APLICAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS EM MATRIZES DE ARGILA, VIDRO E CIMENTO.....	25
2.7.1 Lodo Galvânico e Lodos Similares Contendo Metais Pesados.....	25
2.7.2 Vidro como Fundente.....	29
2.7.3 Areia de Fundição como Estabilizador de Tamanhos.....	30
3 MATERIAIS E MÉTODOS	31
3.1 MATERIAIS DA MINIMIZAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS.....	31

3.2 METODOLOGIA APLICADA NA MINIMIZAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS.....	31
3.2.1 Fluxogramas.....	32
3.2.1.1 Fluxograma Geral do Processo Produtivo.....	32
3.2.1.2 Fluxograma Genérico das Linhas de Zinco e Cromatizações.....	33
3.2.2 Resíduos Sólidos da Indústria.....	35
3.2.2.1 Diagnóstico inicial do Estudo de Caso.....	35
3.2.2.2 Identificação, Classificação e Quantificação.....	37
3.2.2.2.1 Resíduos Domésticos.....	37
3.2.2.2.2 Resíduos Comerciais.....	37
3.2.2.2.3 Resíduos Industriais.....	37
3.2.2.3 Quantificação para Reuso.....	38
3.2.2.4 Lodo Galvânico ou Lama Galvânica.....	39
3.2.2.5 Poeira de Jateamento.....	39
3.2.2.6 Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos.....	40
3.2.2.7 Minimização.....	43
3.2.2.7.1 Lodo Galvânico.....	45
3.2.2.7.2 Poeira de Jateamento.....	49
3.3 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS DOS TESTES E ENSAIOS LABORATORIAIS....	50
3.4 METODOLOGIA NOS TESTES LABORATORIAIS: PREPARAÇÃO DO MATERIAL	51
3.4.1 Preparo dos Materiais.....	51
3.4.1.1 Lodo Galvânico.....	51
3.4.1.2 Poeira de Jateamento.....	52
3.4.1.3 Argila e Areia de Fundição.....	52
3.4.2 Preparo dos Corpos de Prova.....	53
3.4.3 Concentrações, Tempos e Temperaturas Utilizados.....	54
3.4.4 Avaliação Preliminar para Triagem dos Corpos de Prova.....	56
3.4.5 Triagem dos Corpos de Prova.....	57
3.5 METODOLOGIA NOS ENSAIOS LABORATORIAIS: PROCEDIMENTOS.....	60
3.5.1 Microscopia Eletrônica de Varredura.....	60
3.5.2 Perda a Fogo.....	60
3.5.3 Fluorescência de Raio X.....	60
3.5.4 Difractometria de Raio X.....	61

3.5.5 Retração Linear Pós Queima.....	61
3.5.6 Absorção de Água.....	62
3.5.7 Módulo de Resistência à Flexão.....	62
3.5.8 Resistência ao Ataque Químico.....	62
3.5.9 Lixiviação.....	62
3.5.10 Solubilização.....	63
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	64
4.1 MINIMIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE INTERESSE PARA REUSO.....	64
4.1.1 Minimização do Lodo Galvânico.....	64
4.2. TESTES E ENSAIOS LABORATORIAIS.....	66
4.2.1 Lodo Galvânico.....	66
4.2.1.1 Fluorescência de Raio X.....	66
4.2.1.2 Difratomia de Raios X.....	67
4.2.1.3 Aspecto Físico: avaliação visual.....	68
4.2.1.4 Microscopia Eletrônica de Varredura.....	69
4.2.2 Poeira de Jateamento.....	70
4.2.2.1 Fluorescência de Raio X.....	70
4.2.2.2 Difratomia de Raio X.....	71
4.2.2.3 Microscopia eletrônica de varredura.....	73
4.2.3 Areia de Fundição.....	74
4.2.3.1 Fluorescência de Raio X.....	75
4.2.3.2 Análise de Absorção Atômica.....	75
4.2.3.3 Difratomia de Raio X.....	76
4.2.3.4 Microscopia Eletrônica de Varredura.....	77
4.2.4 Argila.....	79
4.2.4.1 Fluorescência de Raio X.....	79
4.2.4.2 Difratomia de Raio X.....	80
4.2.4.3 Microscopia Eletrônica de Varredura.....	82
4.2.5 Corpos de Prova.....	83
4.2.5.1 Resultado de Ensaio do Módulo de Resistência à Flexão.....	83
4.2.5.2 Resultado de Ensaio da Densidade.....	84
4.2.5.3 Resultado de Ensaio da Retração Linear.....	85

4.2.5.4 Resultado de Ensaio da Absorção de Água.....	86
4.2.5.5 Resultado de Ensaio de Resistência a Agentes Químicos.....	86
4.2.5.6 Resultado de Ensaio da Difractometria de Raio X.....	87
4.2.5.7 Resultado de Ensaio da Microscopia Eletrônica de Varredura.....	92
4.2.5.8 Solubilização e Lixiviação.....	94
5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES.....	99
5.1 MINIMIZAÇÃO.....	99
5.2 TESTES E ENSAIOS LABORATORIAIS	100
5.3 SUGESTÕES	102
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	103
ANEXOS	110

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Fluxograma da Produção Mais Limpa.....	9.....
Figura 2	Evolução das questões ambientais na indústria.....	10.....
Figura 3	Fluxograma para minimização de resíduos.....	11.....
Figura 4	Evolução da divulgação sobre atividade de tratamento de superfície.....	18.....
Figura 5	Número de empresas associadas (APETS, 2006).....	18.....
Figura 6	Porte das empresas associadas.....	19.....
Figura 7	Características das empresas associadas.....	19.....
Figura 8	Fluxograma geral do processo de Zincagem.....	33.....
Figura 9	Fluxograma genérico das linhas de zinco e cromatizações.....	34.....
Figura 10	Caçamba de coleta de resíduos fora da indústria.....	35.....
Figura 11	Caçamba dentro da indústria.....	36.....
Figura 12	Recipientes de coleta na indústria.....	43.....
Figura 13	Sistema de lavagem das peças.....	46.....
Figura 14	Segregação de efluentes.....	48.....
Figura 15	Corpo de prova: avaliação do aspecto físico.....	57.....
Figura 16	Corpos de prova finais – retração.....	59.....
Figura 17	Difratograma do lodo galvânico.....	67.....
Figura 18	Lodo galvânico – aspecto físico	68
Figura 19	Lodo galvânico na MEV.....	69.....
Figura 20	Difratograma da poeira de jateamento.....	72.....
Figura 21	Micrografias da poeira de jateamento — 1º ciclo.....	73.....
Figura 22	Micrografias de poeira de jateamento – 2º ciclo.....	74.....
Figura 23	Difratograma da areia de fundição.....	77.....
Figura 24	Micrografias da areia de fundição.....	78.....
Figura 25	Difratograma da argila Taguá.....	81.....
Figura 26	MEV da argila natural.....	82.....
Figura 27	Difratograma do CP M8 seco.....	88.....
Figura 28	Difratograma corpo de prova M9 1100 °C com 6 horas.....	89.....
Figura 29	MEV dos CP's.....	93

LISTA DE QUADROS

Quadro 1	Descrição dos resíduos sólidos na indústria	38
Quadro 2	Cores de lixeira para cada tipo de resíduo	42
Quadro 3	Cores dos recipientes do PGRS <i>Nosso Resíduo tem Valor</i>	42
Quadro 4	Levantamento de resíduos sólidos de interesse em reuso	44
Quadro 5	Classificação de efluentes líquidos inorgânicos	47
Quadro 6	Primeira bateria de amostras	54
Quadro 7	Segunda bateria de amostras	55
Quadro 8	Terceira bateria de amostras	55
Quadro 9	Quarta bateria de amostras	56
Quadro 10	Corpos-de-Prova selecionados	59
Quadro 11	Dados técnicos para leitura no equipamento de absorção atômica	63
Quadro 12	Resultados da minimização para o lodo galvânico	65
Quadro 13	Resultados da minimização da poeira de jateamento	66

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Relação de efluente descartado e lodo gerado	39
Tabela 2	Consumo de microesfera de vidro	40
Tabela 3	Composição química do lodo galvânico	66
Tabela 4	Composição química da poeira de jateamento por FRX	71
Tabela 5	Composição química da areia de fundição por FRX	75
Tabela 6	Composição química da areia de fundição por absorção atômica	76
Tabela 7	Composição química da argila por FRX	80
Tabela 8	MRF dos CP's M6, M8, M9 em diferentes regimes de queima	83
Tabela 9	Médias das densidades	84
Tabela 10	Comparação entre RL e densidade dos CP's	85
Tabela 11	Resultados das médias da absorção de água	86
Tabela 12	Mudança de composição	91
Tabela 13	Resultado CP M8/1120 °C	94
Tabela 14	Resultado do CP M9/110 °C	95
Tabela 15	Análise comparativa de teores de metais nos CP's M8 e M9	96

LISTA DE SIGLAS

APETRE	Associação Brasileira de Tratamento de Resíduos
APETS	Associação Paranaense de Tratamento de Superfície
CONFEA	Conselho Federal de Engenharia, Arquitetura e Agronomia
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
CBUQ	Concreto Betuminoso Usinado a Quente
CETESB	Companhia Estadual de Tratamento Esgotos
CEMPRE	Compromisso Empresarial para Reciclagem
CP	Corpo de Prova
d.e.e	Diâmetro esférico equivalente
DTIE	Division of Technology, Industry and Economics
EPA	Environmental Protection Agency
FIEP	Federação das Indústrias do Paraná
IAP	Instituto Ambiental do Paraná
MRF	Módulo de Resistência à Flexão
MV	Microesfera de Vidro
PFA	Pulverized Fuel Ash
PGRS	Programa de Gerenciamentos de Resíduos Sólidos
RAF	Resíduo de Areia de Fundação
RMC	Região Metropolitana de Curitiba
SENAI-RS	Serviço Nacional de Indústria – RS
SMMA	Secretaria Municipal do Meio Ambiente
SEMA	Secretaria de Estado do Meio Ambiente
TCLP	Toxicity Characteristics Leaching Procedure
UNEP	United Nations Environment Program
UTE	Unidade de Tratamento de Efluentes

RESUMO

Este trabalho apresenta o resultado da implantação de algumas ações de Produção Mais Limpa com enfoque na Minimização de Resíduos, sustentada pelo Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PGRS) dentro de uma indústria com setor galvanotécnico. Dentre os resíduos sólidos gerados destacaram-se o lodo galvânico e a poeira de jateamento para desenvolver, em laboratório, testes de inertização destes resíduos, considerados nocivos ao Meio Ambiente e Saúde Humana. Em escala laboratorial foram efetuadas diversas combinações de misturas em tempos e temperaturas variados, dos resíduos sólidos do setor galvanotécnico, associados a areia de fundição e à argila natural. Os corpos-de-prova preparados foram analisados em suas características mecânicas e químicas, através dos ensaios de retração linear, absorção de água, resistência à flexão, lixiviação e solubilização. Ao término da pesquisa, foram apresentados os resultados do PGRS, com as propostas de Produção Mais Limpa e Minimização dos Resíduos e, as características mineralógicas, químicas e físicas dos corpos-de-prova selecionados, como uma opção de redução dos descartes de poluentes no meio ambiente e uma alternativa de reuso do lodo galvânico e a poeira de jateamento. Com fins de contextualizar a importância deste projeto, são apresentados os principais aspectos relacionados, bem como a abordagem sobre estes, sejam de natureza ambiental, social, econômica, técnica e legislativa.

Palavras-chave: Galvanotécnicos - Produção Mais Limpa - Lodo Galvânico - Inertização - Lixiviação

ABSTRACT

This dissertation presents the results of the implementation of some Cleaner Production measures focusing on Waste Minimization, sustained by the Solid Waste Management Plan (PGRS) in a industry of the plating plant. Amongst the solid waste produced special attention has been given to the galvanic sludge and the peening dust, in order to develop laboratory inertization tests on these materials, considered harmful to the Environment and to Human Health. In laboratorial scale many mixing matches have been made in different time reactions and temperatures with the solid wastes of the galvanic industry, associated with foundry sand and natural clay analyzing the mechanical and chemical characteristics of the samples. Tests as linear retraction, water absorption, flexural strength, leaching and solubilization were performed. At the end of the research the results of the Solids Waste Management Plan - SWMP were presented together with the propositions of the plan, and the mineralogical, chemical and physical characteristics of the samples as a reduction waste option and as an alternative for the reuse of the galvanic sludge and peening dust. With the intention of contextualizing the importance of this project the main aspects of the process have been presented such as the environmental, social, economical, technical and legal approaches of these issues.

Key words: Galvanotecnia - Cleaner production - Galvanic Sludge - Inertization - Leaching.

1 INTRODUÇÃO

A atividade galvanotécnica industrial é um dos setores mais críticos no que diz respeito à emissão de poluentes no meio ambiente, tanto no aspecto de grandes volumes de descartes como também pelas suas características químicas, as quais são prejudiciais ao meio ambiente e aos seres humanos se descartados inadequadamente.

Com a implantação de políticas ambientais nas indústrias, estas poderão se manter no mercado de forma correta e resgatar parte dos custos que são desviados para o tratamento e disposição dos resíduos no final dos seus processos produtivos.

A busca por soluções aos problemas dos resíduos sólidos industriais é a preocupação mais recente deste segmento e não se resume apenas em encontrar meios de reciclá-los ou de dispô-los de forma segura. Há que se pensar antes em minimizar na fonte o que se tem gerado para, com o que realmente não se pode reduzir ou eliminar, desenvolver meios viáveis de mantê-los em uma forma estável na sua disposição final ou, melhor ainda, usá-los novamente.

O estudo aqui desenvolvido abordou a situação atual dos problemas enfrentados pelas indústrias galvanotécnicas quanto ao gerenciamento de seus resíduos, mostrando ações de minimização na linha de produção, mudanças no comportamento das pessoas envolvidas nos processos e opção de usar os resíduos buscando além da menor geração, menores volumes para destinação nos aterros controlados.

A cultura crescente da Produção Mais Limpa, buscando técnicas de Minimização de Resíduos, traz à tona o grande desperdício que tem sido o descontrole nos pontos geradores de resíduos, bem como o custo de envio e manutenção destes em aterros industriais controlados.

Com fins de contextualizar a importância deste projeto, são apresentados os principais aspectos relacionados, bem como a abordagem sobre estes, sejam de natureza ambiental, social, econômica, técnica e legislativa:

- a) os aspectos ambientais estão relacionados aos resíduos gerados no setor galvanotécnico que não possuem controle de suas capacidades, bem como seus destinos;
- b) nos aspectos sociais busca-se a contribuição para a melhoria da saúde dos trabalhadores, que tratam os resíduos gerados ou os manuseiam,

prevenir acidentes e incidentes, auxiliar a implementação de mecanismos que preservem a saúde da força de trabalho com o uso dos indicadores e dos impactos mensurados;

- c) Nos aspectos econômicos, entre os tópicos mais relevantes estão a otimização de processos, readequando ou reutilizando os resíduos onde possam ser aplicáveis, a redução de gastos com poluição dos resíduos gerados, seqüelas de eventuais acidentes e o desenvolvimento científico e tecnológico;
- d) No campo técnico são ganhos bastante importantes a contribuição para o tratamento de resíduos e para o aperfeiçoamento de processos industriais;
- e) A abordagem sobre a legislação específica permitirá o atendimento às exigências das leis, o cumprimento dos padrões normativos do meio ambiente e da responsabilidade social, entre outros.

O objetivo deste trabalho é apresentar uma proposta de minimização de resíduos sólidos com opção de reciclagem, dentro de um setor galvanotécnico. Dos resíduos sólidos encontrados serão priorizadas ações voltadas para o lodo galvânico e poeira de jateamento, os quais serão submetidos a testes laboratoriais, juntamente com areia de fundição, resíduo de outra indústria, misturados à argila, para o desenvolvimento de um novo material ou produto para utilização na área da construção civil.

Com a finalidade de avaliar as características dos corpos-de-prova preparados, serão realizados ensaios de absorção de água, resistência à flexão, lixiviação e solubilização segundo as normas técnicas brasileiras. O parâmetro retração linear, apesar de não ser normalizado, será avaliado por uma questão de metodologia industrial de fabricação.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo serão abordados os fundamentos para os estudos das questões ambientais e o reflexo que esta nova consciência trouxe para as indústrias quanto ao gerenciamento dos resíduos. Também são apresentados os trabalhos sobre o reaproveitamento de lodo galvânico, poeira de jateamento e resíduos industriais tóxicos, usando processos de inertização, realizados neste início de século.

2.1 MEIO AMBIENTE E SUSTENTABILIDADE

De acordo com PENA-VEGA (2003), "as crises de degradação do meio-ambiente e as ameaças da técnica e da indústria nos fazem tomar consciência de que o meio-ambiente é constituído por elementos, coisas, espécies vegetais e animais, manipuláveis e subjugados impunemente pelo gênio humano".

O conceito de sustentabilidade liga-se indelevelmente ao meio ambiente e à sua preservação. "A sustentabilidade significa assegurar que os recursos substitutos estão disponíveis na medida em que os recursos não renováveis se tornem fisicamente escassos. (...) significa que os impactos ambientais do uso de tais recursos se mantenham dentro da capacidade de suporte da Terra para assimilar tais impactos" (FOLADORI e TOMMASINO, 2001). Também significa "a possibilidade de se obterem continuamente condições iguais ou superiores de vida para um grupo de pessoas e seus sucessores em um dado ecossistema" (CAVALCANTI, 1995).

Também TRISTÃO (2004) afiança que a sustentabilidade traz uma visão de desenvolvimento que supera o reducionismo, seja biológico ou físico: "a gestão do meio ambiente está diretamente vinculada à participação, à pesquisa científica, ao senso comum, ou seja, aos saberes acumulados, às sabedorias de vida e aos valores éticos, como estratégias fundamentais para promover a sustentabilidade das sociedades. O acesso à educação é a condição *sine qua non* para efetivar a participação na vida do mundo contemporâneo em todos os níveis".

Diante destas considerações e diante da atual crise que o mundo enfrenta, o grande desafio é encontrar o caminho de um desenvolvimento que continue

atendendo às necessidades de conforto, alimento e de modernização do homem, sem que os recursos naturais sejam danificados (FANG, 2001).

Segundo DIAS, 2002, a compreensão dos processos envolvidos na expansão dos socioecossistemas e as contribuições relativas dessa expansão nas alterações globais configuram um tema de importância crítica para se atingir a sustentabilidade da sociedade humana na Terra. O desenvolvimento com produção sustentável é um desafio das indústrias para o século 21, à luz da crescente pressão ambiental. Além disso, a preocupação inserida no conceito de desenvolvimento sustentável é algo inédito no comportamento do ser humano, por isso o interesse no gerenciamento correto dos resíduos sólidos, como se verá adiante.

2.2 GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS

O aumento populacional, a industrialização e o incremento nas atividades foram os principais motivos da multiplicação dos resíduos. O crescimento acelerado da população implica na expansão automática da industrialização para atender às novas demandas, o que significa um aumento considerável no volume de resíduos gerados, tanto do ponto de vista doméstico quanto industrial. O tratamento não adequado desta quantidade de resíduos pode representar um aumento na degradação ambiental em detrimento da qualidade de vida (SENAI-RS, 2003).

A ECO/92, realizada no Rio de Janeiro, em 1992, gerou a Agenda 21, documento no qual se destaca a necessidade de mudança dos padrões não sustentáveis de produção e consumo como gerenciamento dos resíduos sólidos concentrados em quatro áreas: reduzir ao mínimo a geração; aumentar ao máximo a reutilização e a reciclagem; providenciar depósitos e tratamentos ambientalmente corretos e ampliar os serviços que se ocupam dos resíduos.

Em vista desta proposta, a Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, com a NBR 10004:2004, define resíduos sólidos como:

resíduos nos estados sólido e semi-sólido, 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, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos água, ou exijam, para isto, soluções técnicas e economicamente inviáveis, em face à melhor tecnologia disponível.

Partindo dessa definição, os resíduos sólidos e semi-sólidos são classificados da seguinte forma:

- a) resíduos Classe I – Perigosos;
- b) resíduos Classe II A – Não Inertes;
- c) resíduos Classe II B – Inertes.

Todas as atividades, ditas domésticas ou industriais, geram resíduos. Esses resíduos significam matérias-primas que foram desperdiçadas nas etapas de uma produção (ou processo) que, além de prejuízos econômicos, acarretam consequências desastrosas e, muitas vezes, irreparáveis ao ambiente natural (SILVA et al. 2003).

HAMMES (2004) verificou que cerca de 1.000 a 2.000 novos produtos químicos, orgânicos e inorgânicos são adicionados anualmente aos 100.000 produtos já produzidos comercialmente no mundo. Todos estes produtos químicos são tóxicos. O risco para a saúde humana e para o meio ambiente depende do grau de toxicidade, do nível de concentração do princípio ativo e do tempo de exposição a esses materiais. Efeitos crônicos são percebidos nos seres vivos pela detecção de doenças neurológicas, genéticas e câncer. Os produtos químicos podem chegar ao ecossistema diretamente (na forma de agrotóxicos ou fertilizantes) ou indiretamente, pela ação de atividades como a mineração, processos industriais, incineração, etc., causando poluição local, regional ou global. A busca por soluções técnicas para o destino do resíduo perigoso é constante e a elaboração de uma política abrangente, com a ampliação das responsabilidades na geração e gerenciamento do resíduo, que leve em conta as múltiplas realidades para seu tratamento, deve ser enfatizada.

Como resultantes do processo de produção industrial têm-se as cinzas, lodos, óleos, metais, vidros, plásticos, orgânicos, entre outros. Esses resíduos podem ou não apresentar periculosidade, dependendo das suas características. Alguns exemplos de resíduos industriais perigosos podem ser citados: resíduos de fundo de colunas de destilação ou fracionamento de produção de clorobenzeno; lodos dos sistemas de tratamento de águas residuárias de diversos tipos de indústrias; lama de estação de tratamento de efluentes do processo de produção de cloro em células de mercúrio; resíduos de limpeza com solvente na fabricação de tintas, etc. O primeiro item no estabelecimento de um sistema de gestão de resíduos é a correta

identificação dos resíduos gerados e seus efeitos potenciais no ambiente (SISINNO e OLIVEIRA, 2000).

No Brasil, o gerenciamento dos resíduos sólidos industriais ainda é inexpressivo. Segundo dados da Associação Brasileira de Tratamento de Resíduos - ABETRE, mais de 70% do lixo industrial acaba em lugares inapropriados, ou seja, “a maioria dos descartes industriais é feita de forma inadequada, misturada em lixões domésticos, sejam eles municipais ou clandestinos” (FURTADO, 2005).

Este tipo de comportamento inadequado, que ainda é adotado por muitas empresas, mostra tendências de mudanças para o futuro. Em Curitiba, a Administração Pública tem intensificado seu controle restringindo o descarte dos resíduos tóxicos no aterro sanitário da Cachimba. Estes resíduos eram levados diretamente pelos caçambeiros, que não cumpriam plenamente (apesar de informados desde agosto de 2004) o Comunicado da SMMA, Departamento de Limpeza Pública, Gerência de Coleta e Destinação e Disposição Final, sobre a obrigatoriedade de se cumprir o Decreto n. 156/1990, o qual define que no aterro sanitário municipal só é permitida a disposição de resíduos domiciliares, hoteleiros, de restaurantes e similares, com características basicamente orgânicas (Anexo 1). A população, tanto a empresarial como as pessoas físicas, erra quando descarta resíduos tóxicos juntamente com os resíduos urbanos orgânicos e recicláveis, pela total falta de informação ambiental e, por isso, correm sérios riscos de serem enquadrados nas sanções da Lei Federal nº 9.605/1998, conhecida como Lei de Crimes Ambientais (CURITIBA, 2004).

No Paraná, a Lei Estadual nº 12.493/99 estabelece princípios, procedimentos, normas e critérios de gerenciamento de resíduos que estão sob a responsabilidade de seus geradores. De acordo com a Lei Federal nº 9.605/1998, o gerador receberá pesadas sanções pela disposição inadequada de seus resíduos, por isto ele é obrigado a dispor, tratar ou temporariamente estocar seus resíduos, até a destinação final eficiente. Para o correto gerenciamento dos resíduos sólidos industriais, é necessário conhecer as quantidades geradas de resíduos, sua tipologia, sua forma de tratamento e sua disposição final. A realização de inventário através de formulários específicos bem como, suas atualizações através do sistema de licenciamento ambiental, serão importantes ferramentas para a gestão dos resíduos sólidos em nosso Estado. Cabe ao Instituto Ambiental do Paraná - IAP realizar, obrigatoriamente, o Inventário de Resíduos Sólidos Industriais no Estado,

de acordo com o estabelecido pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) na Resolução nº 313/2002 e corroborado pela Lei Estadual nº 12.493/1999 e pelo Decreto Regulamentador nº 6.674/2002 (CURITIBA, 2003).

Ainda no âmbito do gerenciamento e buscando novas soluções menos agressivas ao meio ambiente, muitos pesquisadores estudam maneiras de trabalhar com os resíduos como, por exemplo: inertização, reutilização, disposição ou até mesmo desenvolvimento de novos materiais a partir de resíduos. Esta preocupação também rege as diretrizes que orientam a comunidade europeia a respeito do gerenciamento do resíduo sólido, dando maior importância ao desenvolvimento de tecnologias dirigidas para reciclagem e ao reuso. Alta prioridade também é dada à recuperação de matérias-primas e energia dos resíduos. Porém, estas exigências nem sempre podem ser satisfeitas devido aos altos custos das tecnologias apropriadas e disponíveis. Quando isto acontece, a atenção se volta para a redução do impacto ambiental que estes resíduos possam causar. No caso dos resíduos sólidos os processos de estabilização por solidificação (E/S) são os mais apropriados. Os processos de E/S já são usados extensamente para o tratamento de resíduos sólidos industriais perigosos, e aqueles utilizando matriz cimentícia, os mais apropriados para os resíduos que contêm metais pesados. Embora sejam empregados principalmente para uma disposição mais segura dos resíduos tóxicos, podem também originar produtos com alto potencial no campo de materiais pré-fabricados para construção civil, pois estes processos, normalmente, produzem produtos monolíticos (CIOFFIA, LAVORGNAB e SANTORO, 2001).

Segundo SOUSA e GOMES (2004), outra matriz muito utilizada na busca de encontrar meios para inertizar ou reutilizar os resíduos industriais como matéria prima e ou reduzir seu volume nos aterros industriais controlados, é a matriz argilosa. Ela dá origem à cerâmica vermelha (estrutural), assim chamada porque possui coloração avermelhada quando queimada, devido à presença de compostos ferrosos, que pode ser aproveitada na construção civil para fabricação de tijolos, telhas, ladrilhos, tubos cerâmicos.

2.2.1 Produção Mais Limpa

A ordem geral é implantar as chamadas Tecnologias Limpas ou Produção Mais Limpa. O conceito de “Produção Mais Limpa”, desenvolvido pelo Centro Nacional de Tecnologias Limpas (CNTL) com o aval da ONU, em apenas seis anos de trabalho no Brasil, já reúne mais de mil cases de sucesso. (CONFEA, 2004)

As expressões Produção mais Limpa e Prevenção à Poluição são freqüentemente utilizadas como sinônimos e a distinção entre eles tende a ser apenas geográfica (SENAI-RS 2003).

A expressão Prevenção à Poluição é mais usada na América do Norte pela Agência Ambiental dos Estados Unidos (Environmental Protection Agency- EPA) e em outras partes do mundo, como pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (United Nations Environment Program –UNEP), usa-se Produção Mais Limpa. Porém o conceito de ambas as expressões são iguais que se resume em: redução na fonte – prevenindo ou reduzindo resíduos onde eles têm origem – dentro do processo produtivo ao invés de tratá-los após terem sido gerados, incluindo práticas que conservem recursos naturais pela redução ou eliminação de poluentes através do uso mais eficiente de matérias-primas, energia, água e solo para aumentar a eficiência de produção e reduzir os riscos para o ser humano e o ambiente”.

Produção Mais Limpa requer mudanças de atitude, garantia de gerenciamento ambiental responsável, criação de políticas nacionais direcionadas e avaliação de alternativas tecnológicas. Na Declaração Internacional Sobre Produção Mais Limpa, o UNEP reconhece “que atingir o desenvolvimento sustentável é uma responsabilidade coletiva. As ações para melhorar o ambiente global devem incluir a adoção de práticas de produção e consumo mais sustentáveis (UNEP, 1989).

De acordo com o SENAI-RS (2003), Produção Mais Limpa é baseada em determinados aspectos, como:

- a) redução da geração na fonte, geração zero ou minimização: pode variar desde a alteração de práticas operacionais até alterações tecnológicas no processo produtivo;
- b) reutilização de resíduos dentro do setor industrial: pode variar da simples utilização dos dois lados de uma folha de papel, reutilização de peças e

componentes usados de produtos, até profundas alterações no processo produtivo;

c) reciclagem de resíduos: pode ser dividida em reciclagem interna e externa onde a primeira utiliza os resíduos como matéria-prima em outro processo produtivo e a segunda, além desta utilização, pode aproveitar os materiais contidos nos resíduos e transformá-los em um novo produto.(SENAI-RS, 2003)

Na Produção mais Limpa, há uma hierarquia de situações possíveis (Figura 1). Inicialmente (nível 1), deve-se evitar a geração de resíduos, depois (nível 2), não sendo possível evitar a geração de resíduos, deve-se reintegrá-los ao processo produtivo, e por fim (nível 3), na impossibilidade de atingir os níveis anteriores, deve-se tomar medidas para reciclagem fora da empresa. No nível 3, quando impossível o reaproveitamento dos resíduos no próprio processo produtivo, é que as empresas devem tomar atitudes para o encaminhar seus resíduos visando empregá-los, se possível, como matéria-prima em outras empresas, mesmo em setores diferentes do seu (SEMA, 2003).

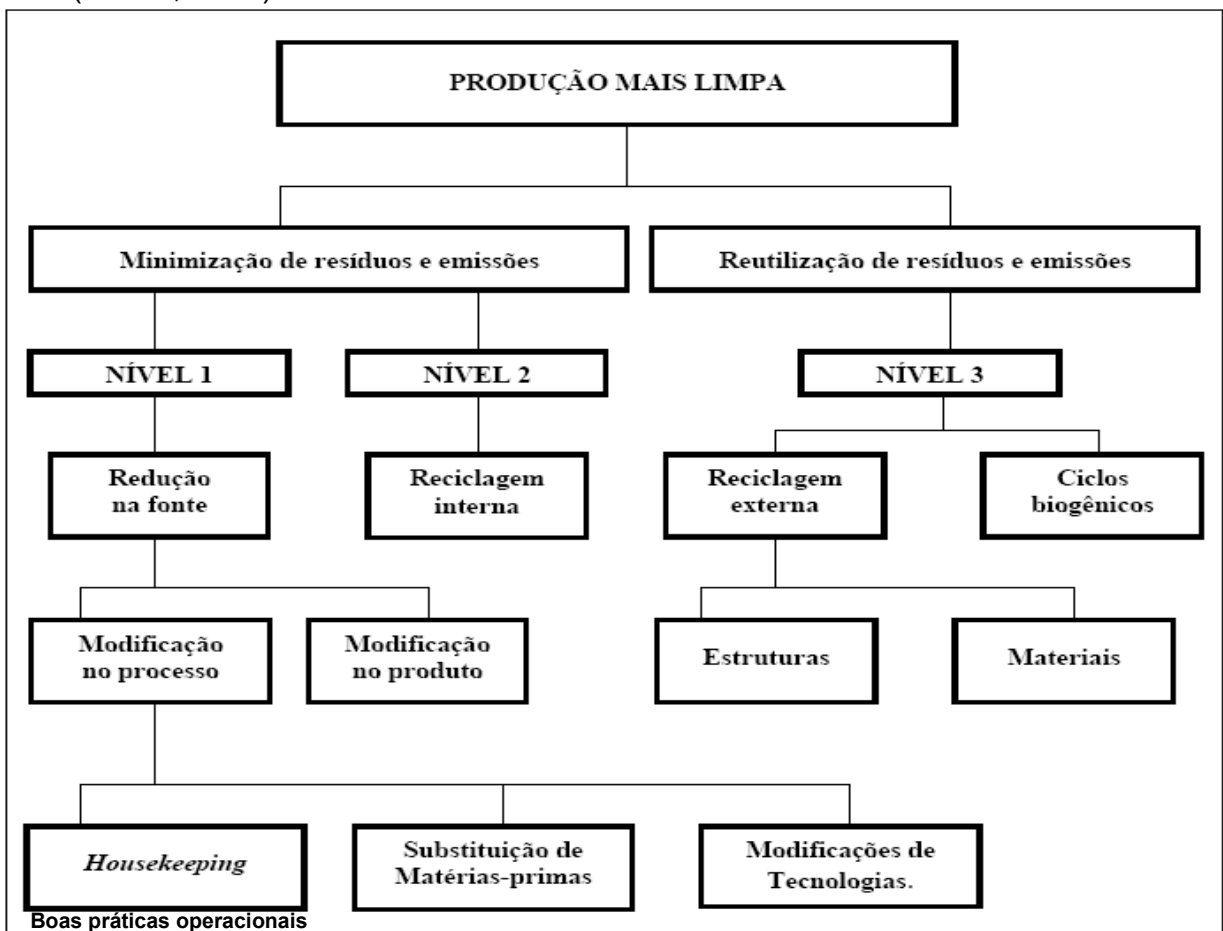


Figura 1 - Fluxograma da Produção Mais Limpa (SENAI, 2003)

2.2.2 Prevenção da Poluição/Minimização de Resíduos

A evolução das questões ambientais caminhou nestes últimos 50 anos e passou por fases evidenciadas pelas ações de dispor os resíduos, depois busca encontrar meios de tratá-los e então chegar nos tempos atuais que são ações de prevenir sua geração. Na Figura 2, a evolução das questões ambientais na indústria mostra como este processo vem acontecendo.



Figura 2 - Evolução das questões ambientais na indústria (SENAI, 2003)

Usualmente, os termos Minimização de Resíduos e Prevenção à Poluição são utilizados como sinônimos. Prevenção à Poluição significa não gerar resíduos com reduções na fonte. Minimização de Resíduos é um conceito mais amplo que também inclui reciclagem e outros meios para reduzir a quantidade de resíduo que deve ser tratado/disposto (SENAI-RS, 2003).

A minimização, antes de se constituir em uma etapa de gerenciamento, é o primeiro aspecto a ser considerado dentro do conceito de prevenção à ocorrência dos impactos ambientais. Minimizar a geração de resíduos em certo nível é possível,

e traz grandes benefícios econômicos e ambientais (NAIME, SARTOR e GARCIA, 2004).

Diz VALLE (2000) que “a minimização de resíduos é a metodologia que objetiva reduzir a geração de resíduos em uma instalação através de ações de cunho técnico e gerencial. Essa minimização tanto pode ser alcançada na fonte, evitando-se a formação do resíduo em sua origem, como através de técnicas de reciclagem e de reaproveitamento interno, impedindo que o resíduo chegue a ser lançado no meio ambiente” como mostra o fluxograma da Figura 3.

A reciclagem externa para reutilização direta também é considerada uma técnica de minimização de resíduos, mas tem baixa prioridade quando comparada à prevenção na planta. Porém não deixa de ser, nos casos em que os resíduos não podem retornar diretamente ao processo que o gerou, um forte aliado para minimizar os descartes ao meio ambiente. Pode-se ver, no fluxograma, os procedimentos de reciclar, recuperando ou reusando, como parte integrante da minimização.

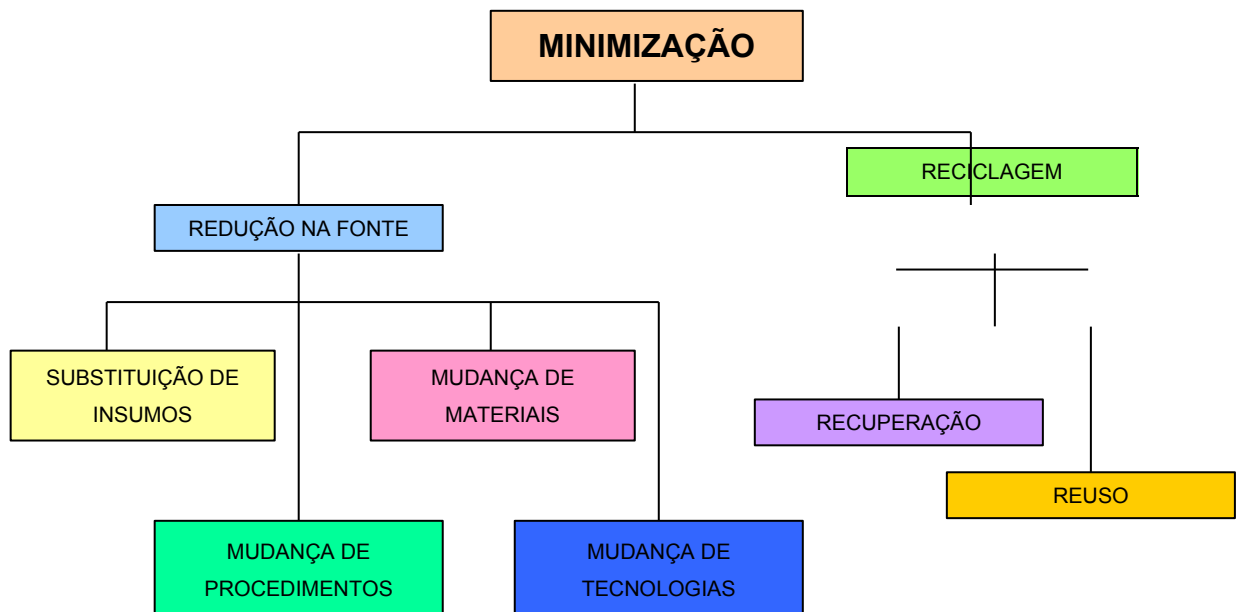


Figura 3 - Fluxograma para minimização de resíduos (Rev. Espaço para Saúde, 2004)

BALDOCH (2002) enfoca que “a redução na fonte consiste na redução ou eliminação da geração de um resíduo de processo através de modificações dentro do processo”. As práticas de minimização de resíduos têm-se mostrado economicamente vantajosas, pois oferecem uma possibilidade de redução dos custos de destinação associada à alteração das características qualitativas e quantitativas dos resíduos e obtenção de receita pela comercialização dos produtos obtidos no tratamento e/ou separação dos resíduos.

Para facilitar a implantação das técnicas de redução na fonte, com base no que foi dito por DENNISON (1996), é necessário conhecer e avaliar os procedimentos de produção, conhecer os resíduos gerais e quais os processos que os geravam e só depois proporcionar a redução destes na sua fonte.

Segundo SILVA et. al. (2003), “em geral as melhorias e inovações advêm de um programa simples de gerenciamento e ocorrem como resposta às condições reais enfrentadas pelos indivíduos envolvidos no processo”.

2.3 RECICLAGEM

O vocábulo surgiu na década de 1970, quando as preocupações ambientais passaram a ser tratadas com maior rigor, especialmente após o primeiro choque do petróleo, quando reciclar ganhou importância estratégica. (SENAI-RS, 2003).

Na maior parte dos processos, o produto reciclado é completamente diferente do produto inicial, o material que seria descartado pode ser transformado novamente em matéria-prima para a fabricação de um novo produto. Reciclar diminui a quantidade de resíduo que se descarta.

A tendência mundial hoje, em especial nos países altamente industrializados da Europa e nos Estados Unidos, está baseada em redução da geração na fonte, utilização de resíduos, reciclagem de resíduos, incineração de resíduos com aproveitamento de calor, implantação de monitoramento nos locais de disposição de resíduos: prevenção e controle da poluição ambiental (SENAI-RS, 2003).

Os rejeitos gerados nas atividades industriais brasileiras, normalmente não retornam aos processos produtivos como forma de recuperar matéria e energia. São lançados ao meio ambiente de maneira desordenada, interferindo nos sistemas naturais. Este fenômeno, via de regra, é consequência da escassez de recursos

humanos qualificados, de limitações tecnológicas acessíveis, de fiscalização abrangente, excesso de recursos jurídicos para recorrer das multas aplicadas. Outras vezes, devido à falta de conhecimento ou conscientização (SENAI-RS, 2003).

2.3.1 Segurança na Reciclagem ou Disposição Final

Os métodos de reciclagem ou de disposição final dos resíduos sólidos industriais devem garantir que o material originado não apresente riscos ao meio ambiente. Para este fim existem tratamentos que podem alterar as características, a composição química e as propriedades dos resíduos.

Existem várias formas de se tratar um resíduo, tais como:

- a) converter constituintes agressivos em formas menos perigosas ou insolúveis;
- b) alterar a estrutura química de determinados produtos, tornando mais fácil sua assimilação pelo meio ambiente;
- c) destruir quimicamente produtos indesejáveis e separando da massa de resíduos os constituintes perigosos, com a conseqüente redução de volume e periculosidade.
- d) encapsular, método conhecido como solidificação, estabilização, inertização ou fixação, consiste na estabilização ou imobilização de resíduos perigosos transformando-os em materiais menos poluentes através da adição de aglomerantes ou através de processos físicos.

O encapsulamento tem como objetivos:

- a) melhorar as características físicas e de manuseio do resíduo;
- b) diminuir a área superficial de transferência ou perda de constituintes para o meio;
- c) limitar a solubilidade de qualquer constituinte do resíduo;
- d) imobilizar constituintes perigosos.

Em vista disto, têm-se vários tipos de encapsulamento (SENAI-RS, 2003), tais como:

- a) processo à base de cimento: resíduos com elevados teores de metais tóxicos;

- b) processo à base de cal e materiais pozolânicos: materiais utilizados são cinzas leves, poeiras de fornos de cimento, cal;
- c) técnicas à base de termoplástico: materiais utilizados são asfalto, betume, polietileno, polipropileno;
- d) técnicas à base de polímeros orgânicos: materiais utilizados são uréia, formaldeído, poliéster e butadieno;
- e) técnicas de encapsulamento superficial: resíduos aglomerados são revestidos superficialmente (poliuretanos, resina de fibra de vidro);
- f) técnicas de auto-solidificação: resíduos com grandes quantidades de sulfatos ou sulfetos;
- g) técnica de vitrificação com sílica: resíduos altamente perigosos ou radioativos (fusão com sílica).

Os pesquisadores — BASEGIO, BERUTTI e BERGMANN (2001); SUN, QIAN e LAI (2002); BALATON, GONÇALVES e FERRER (2002) — têm pesquisado a incorporação de resíduos sólidos contendo metais pesados em base argilosa, aproveitando o seu potencial fundente e capacidade de troca iônica.

No Brasil, o mais recente trabalho sobre inertização de resíduos tóxicos, coordenado por CASTANHO (2005), em São Paulo, desenvolve um método para transformar uma série de resíduos industriais em vidro.

2.4 INDÚSTRIA GALVÂNICA

BERTORELLI (1977), considerado o maior conhecedor de processos galvânicos pela classe científica, autor de um livro que resume a história da galvanoplastia.

Há relatos do uso do recobrimento de metal com outro metal, ou um não metal com um metal, desde épocas muito remotas. Em escavações na Itália, foram encontradas evidências de civilizações muito antigas, cerca de 3000 AC, que tinham objetos decorativos com metais unidos a materiais não metálicos, vasos com lâminas metálicas e outras peças com traços metálicos. Peças encontradas nas tumbas dos faraós, por exemplo, estatuetas recobertas por cobre e pontas de lanças douradas. De um modo genérico, pode-se dizer que a arte galvânica surgiu há mais

de 5000 anos, porém sem sombra de dúvida, somente depois da incrível descoberta da pilha voltaica de Alessandro Volta é possível estabelecer com lógica científica o início da era da deposição eletrolítica dos metais. Desta forma, a arte galvânica, nasceu na Itália, precisamente em Pávia, em 1800, com os estudos do químico Luigi Valentino Brugnatelli, colaborador de Alessandro Volta.

Daí para frente o processo galvânico teve seu desenvolvimento ascendente com a ajuda dos estudos de vários cientistas. Ocorre a descoberta do uso do cromo, da niquelagem rápida, niquelagem brilhante, da oxidação anódica do alumínio, das ligas de metais comuns e preciosos, da fosfatização, das máquinas automáticas, do rigor no controle dos processos e a sua entrada na indústria, até 1964 com a aplicação de metal sobre o plástico (BERTORELLI, 1977)

Atualmente, segundo ZAPAROLLI (2005), o desenvolvimento de novos produtos para banhos químicos e novas técnicas de conter a corrosão caminham com grande velocidade e a cada dia surgem novidades de processos de tratamentos de superfícies, assim como melhorias nas características químicas e ambientais dos processos já existentes, por exemplo, o surgimento de uma geração de cromatos trivalentes com propriedades que podem superar os cromatos hexavalentes a as linhas de zinco alcalino isento de cianeto.

As inovações não param e ano a ano são lançados em feiras e congresso internacionais (Congresso de Hannover, 2005, por exemplo) onde as mais recentes descobertas na área de acabamentos superficiais foram lançadas (anexo 2).

2.4.1 Comportamento Ambiental no Paraná do Setor Galvanotécnico

O Primeiro Acordo Básico sobre Cooperação Técnica entre Alemanha e o Brasil (1965-2005) possibilitou a troca de experiências e tecnologias nas áreas da proteção ambiental e gerenciamento de recursos naturais. Nas últimas quatro décadas, esta cooperação nunca foi interrompida, mesmo em tempos politicamente difíceis, reagindo com flexibilidade às transformações profundas que aconteceram no Brasil. No Paraná, a parceria proporcionou, nos últimos dez anos, investimentos para a criação de uma cultura de planejamento empresarial, bem como uma nova filosofia de preservação ambiental e da importância do associativismo (40 ANOS DE COOPERAÇÃO PARA O DESENVOLVIMENTO BRASIL-ALEMANHA, 2003).

Foi neste contexto que os empresários do ramo de atividade galvanotécnica no Paraná se mobilizaram e fundaram a Associação Paranaense de Tratamento de Superfícies – APETS, a fim de levar os novos conceitos a todas as pequenas e médias indústrias, com o intuito de tirá-las da clandestinidade (APETS, 1997).

Brasil e Alemanha trilharam caminhos semelhantes: “foi através do conhecimento das conseqüências ambientais causadas pelos resíduos que as iniciativas legais foram tomadas e, sobretudo justificadas. Este desenvolvimento foi guiado pelo princípio da prevenção. Assim, a consciência ambiental e, conseqüentemente, a legislação ambiental foi fortemente modificada nas últimas décadas” (FISHER e CLAUB, 2003).

2.4.2 Situação Atual das Indústrias do Setor Galvânico

Segundo a Associação Paranaense de Tratamento de Superfície - APETS, que teve papel importante neste processo de qualificação do setor galvanotécnico, existem, na Região Metropolitana de Curitiba – RMC, aproximadamente 150 empresas que atuam neste segmento, muitas informalmente instaladas e outras com o setor galvanotécnico não declarado.

Antes da década de 1970, a preocupação ambiental, no segmento industrial, era atender as notificações e multas. No início da década de 1970, ela volta-se aos cuidados das características qualitativas dos descartes líquidos de dentro para fora das indústrias, porém sem muito conhecimento técnico, por parte dos projetistas, em como tratar resíduos líquidos. Nos anos 1980 veio a preocupação com o ar e nos anos 1990, a preocupação com os resíduos sólidos (CAVALCANTI, 2005).

Muitos pesquisadores como SCHELLE (1998), ZUGMAN e NUNES (1999), PACHECO (1999), QUARESMA (2000), PONTE (2002), BERNARDES (2000), SENAI-RS (2003), entre outros têm discutido sobre ações para minimização na indústria galvânica e está comprovado que o maior problema enfrentado pelas galvânicas é o volume e toxicidade dos resíduos gerados.

De acordo com MAIA (1996), a galvanoplastia pode ser dividida em antes e depois da vinda da indústria automobilística. Foi a partir das exigências dessas multinacionais que o setor iniciou sua escalada de desenvolvimento, o qual continua até hoje. A chegada das montadoras permitiu a profissionalização da galvanoplastia,

antes resumida a trabalhos artesanais em peças de adorno ou em autopeças de carro importado e a introdução de novas tecnologias. Sendo clientes exigentes, estas indústrias impuseram normas e requisitaram qualidade.

Na RMC foi apenas depois da vinda das montadoras que as indústrias galvânicas se mobilizaram para se adaptarem à realidade dos processos controlados para poderem ser fornecedoras deste novo segmento do mercado, os fornecedores sistemistas das montadoras. Vale lembrar que o setor automobilístico, por ser um setor altamente competitivo, é obrigado a manter seus níveis de qualidade no mais alto padrão. Assim, essa qualidade não é imprescindível apenas no interior da empresa, mas em todo o ciclo de fabricação e revenda de seus produtos. Desta forma, as exigências das normalizações passam a ser conclusiva para seus fornecedores de peças e serviços nos últimos cinco anos, obrigando-os a fazer suas certificações e a buscar a qualidade total e ambiental. A Renault, como cita WIEMES, 2003, por exemplo, é uma "empresa que exige que seus fornecedores de peças sejam certificados através da Sistemática da Qualidade". A qualidade total é fundamentada na premissa de que para melhorar a qualidade é preciso mudar os processos que produzem defeitos. A poluição pode ser considerada basicamente o resultado de desperdícios no processo de produção. Alterando o processo na empresa onde há o compromisso com a qualidade, pode-se prevenir o "defeito" poluição evitando a necessidade de retrabalho.

A característica comum das médias e pequenas empresas é que atuam sem muita informação técnica, mas com a experiência passada de geração a geração, sem qualquer critério quanto aos controles de processos, de resíduos gerados e descartados.

Nestes últimos oito anos a APETS (2005), como mostra a Figura 4, em palestras e cursos, levou a mais de 20.000 pessoas o conhecimento sobre questões ambientais e novas tecnologias do segmento.

Pessoas que já participaram das atividades da Apets

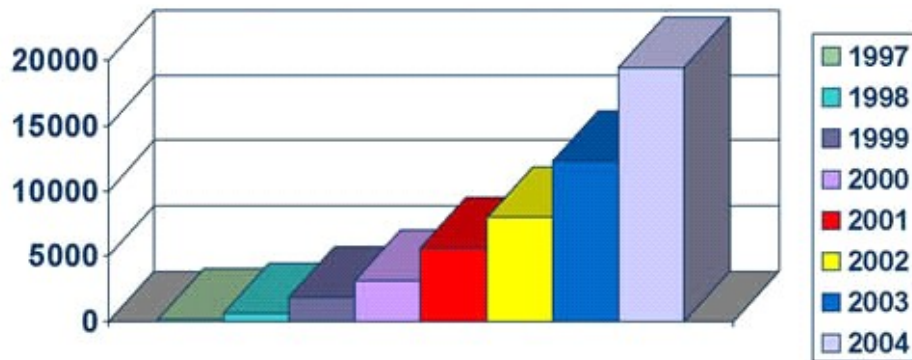
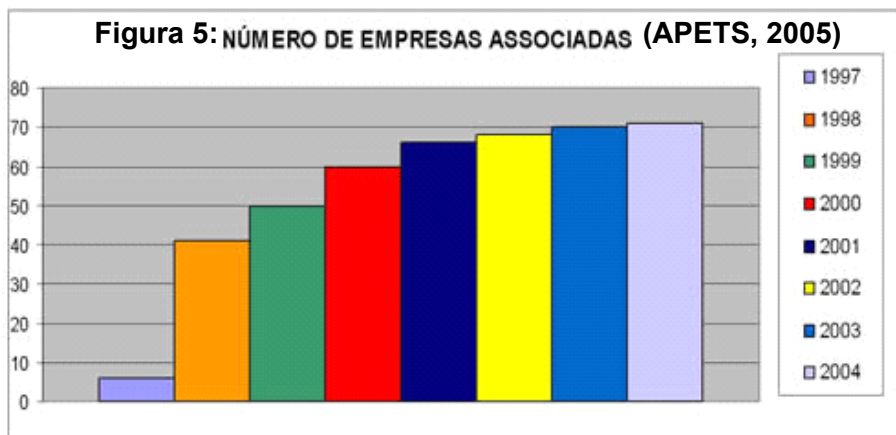


Figura 4 - Evolução da divulgação sobre atividade de tratamento de superfície (APETS, 2005)

O número de empresas envolvidas não acompanhou ao número de pessoas, mas pode-se observar na Figura 5, nota-se o crescimento das indústrias envolvidas com as questões ambientais desde o início das atividades da APETS.



As empresas que atuam na área de tratamento de superfície e que buscam informação técnica através da associação são, em sua grande maioria, as de pequeno e médio porte. Na Figura 6, avaliando-se o porte das empresas tem-se uma noção do perfil das empresas envolvidas com a APETS.

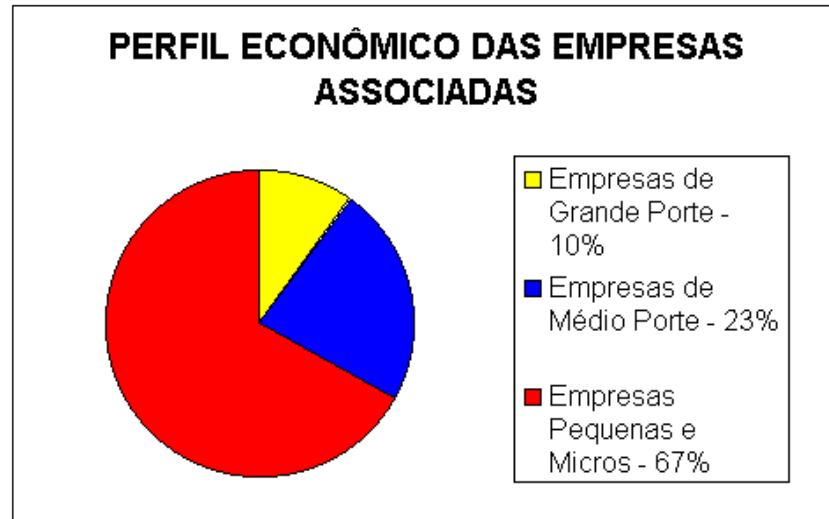
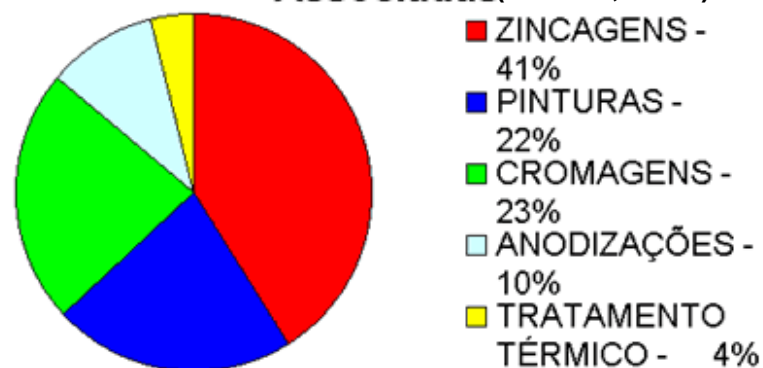


Figura 6 – Porte das empresas associadas. (APETS, 2005)

Os tipos de processos executados nas indústrias associadas são, primeiro, as zincagens (41%) e na seqüência, pinturas (22%), cromagens (23%), anodizações (10%) e tratamentos térmicos (4%), conforme mostra a Figura 7, APETS, 2005.

Figura 7: Características das Empresas Associadas (APETS, 2005)



2.5 PROCESSOS DE TRATAMENTO DE SUPERFÍCIES

Tratamento superficial é um ramo de atividade extremamente tóxico, com grandes volumes e com uma alta concentração de poluentes, ela torna-se, dentro do segmento industrial, uma das maiores contribuintes para a poluição (KIELY, 1999).

Segundo PONTE (2002), “metais e reativos químicos são a base dos processos de tratamento de superfície.” Os descartes provenientes de uma indústria galvânica, altamente poluentes, são efluentes líquidos usados nos banhos químicos, produtos de pré-tratamento e também das águas de lavagem, além de resíduos sólidos, tais como embalagens de produtos químicos, borras de banhos, microesferas usadas no jateamento e lodos provenientes das unidades de tratamento (SCHLEUDERER, 2000).

O termo galvanoplastia refere-se ao “processo de eletrodeposição de um metal sobre um molde, sendo que a deposição de uma fina camada de metal sobre outro metal é chamada de galvanostegia” (VALENZUELA, 1999).

Basicamente “é o processo de revestimento eletrolítico de uma peça por um metal, imersa em um banho que tem como finalidade o embelezamento, a proteção contra corrosão ou o aumento da resistência de um material destinado a trabalhos mecânicos pesados (BERNARDES, 2000).

2.6 RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS DO SETOR GALVANOTÉCNICO

O volume e a diversidade dos resíduos gerados dentro de uma indústria que contém um setor galvanotécnico é grande e necessita de um gerenciamento específico. No Capítulo 3 serão descritos de cada um deles. As ações de minimização aplicáveis constam do Anexo 3. A seguir serão descritos apenas os resíduos sólidos de interesse neste trabalho, lodo galvânico e poeira de jateamento, os quais serão usados para testes e ensaios laboratoriais visando a reciclagem. Serão abordadas também algumas informações sobre o resíduo da indústria de fundição de metais, utilizado nos testes laboratoriais como material fornecedor da estabilização de tamanho do produto confeccionado e informações técnicas da argila usada como matriz agregadora.

2.6.1 Lodo Galvânico

Classificado como Resíduo Sólido Industrial Perigoso, classe I, segundo NBR 10004:2004, resulta do tratamento de efluentes da indústria de tratamento superficial de peças. Sua periculosidade é amplamente conhecida pela alta concentração de metais pesados em sua composição, sendo o mais perigoso dentre os resíduos produzidos pela indústria metalúrgica. (ESPINOSA e TENÓRIO, 2001).

Embora quantitativamente sejam menos significativos, quando comparados aos resíduos urbanos sólidos, o lodo galvânico pode apresentar qualitativamente um forte risco de impacto ambiental (COUTO, 2000).

É um material sólido, porém muitas vezes encontra-se no estado pastoso. Geralmente contém de 60% a 75% de água após passar pelo filtro prensa. Sua coloração é variável de acordo com o efluente tratado. Em sua composição estão presentes compostos químicos em diferentes formas: hidróxidos, óxidos hidratados e sais dos metais das linhas de tratamento superficial em questão. Podem estar presentes sais solúveis de metais pesados, além de carbonatos, sulfatos e fosfatos de cálcio quando a neutralização é realizada com carbonato de cálcio.

O lodo pode conter ainda materiais inertes, principalmente SiO_2 , proveniente de silicatos alcalinos dos banhos de limpeza, de contaminações do óxido hidratado de cálcio, utilizado para neutralização, bem como de impureza em geral. Podem ainda estar presentes complexos de metais com cianetos, quando, durante a oxidação de cianeto com compostos clorados, se formarem complexos metálicos insolúveis e não-oxidáveis, como, por exemplo, ferrocianeto de zinco.

Os monolodos, isto é, lodos que contém principalmente um metal, apresentam processos de reciclagem facilitados, porém as linhas de tratamento devem ser isoladas para que se consiga um lodo com predominância de um metal específico.

O cobre (Cu) e o níquel (Ni) são os metais mais nobres para este tipo de recuperação de hidrometalurgia, que significa solubilizar os sais insolúveis e isolá-los e utilizar para reforço nos banhos químicos (BERNARDES et al. 2000).

O descarte ou estocagem inadequada deste resíduo poderá causar danos ao meio ambiente e à saúde. A sua lixiviação, por parte das águas das chuvas, pode promover a contaminação da cadeia alimentar com metais pesados. Devido sua natureza química a biodegradação ou assimilação pelo ambiente não é realizada

num espaço temporal compatível com as exigências ambientais de saúde pública (MILANEZ et. al., 2004).

A disposição final do lodo galvânico contendo metais pesados deve ser em aterros industriais controlados ou co-processamento em fornos de cimento. No Paraná este procedimento não é liberado pelo órgão ambiental. As empresas do Paraná, que possuem este tipo de resíduo, estocam em seus pátios aguardando uma solução do IAP ou até possuírem quantidades suficientes para destinarem para co-processamento no estado de Rio de Janeiro, onde os órgãos ambientais permitem este processo. No programa Desperdício Zero, coordenado pela Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos – SEMA, uma das metas para os resíduos industriais é desenvolver ações conjuntas com a Federação das Indústrias do Paraná – FIEP, no sentido de ampliar a reciclagem de resíduos, com o apoio da bolsa de reciclagem de resíduos, e notificar empresas que possuem resíduos armazenados sem destino definido atendendo à Resolução SEMA nº 31/1998, que não permite armazenamento de resíduos por prazo superior a um ano.

2.6.2 Poeira de Jateamento

A poeira de jateamento é gerada nas câmaras de jateamento no setor de limpeza mecânica, que é a primeira etapa da maioria das peças que se submetem ao processamento de tratamento de superfície. Este equipamento lança em alta velocidade, microesferas de vidro contra as peças metálicas com o objetivo de retirar, através do efeito abrasivo, carepas e asperezas, assim como sujidades presentes na superfície da peça.

Após as microesferas de vidro terem sido usadas no processo de limpeza mecânica, elas partem-se, após algumas vezes de reuso, perdendo a sua propriedade de remoção, sendo então descartadas.

Apesar de haver um arraste de metais e sujeiras das peças, a sua característica original não altera muito, permanecendo a mesma composição química.

Sua classificação segundo a norma da ABNT NBR-10004:2004 é Resíduo Sólido Industrial Inerte, classe II B.

A poeira de vidro é um rejeito industrial que não pode ser reaproveitado no próprio processo, pois se misturado às matérias-primas, para produzir o próprio vidro, é suspenso ao ar devido à ação dos queimadores que sopram sobre os constituintes da mistura para que ocorra a fusão dos mesmos. Além disto o pó de vidro adicionado gera bolhas no material porque possui ar adsorvido nas partículas, ele é inerte, mas se levado aos rios pode aumentar o pH e a turbidez das águas (LUZ e RIBEIRO, 2004).

O vidro é obtido pela fusão de rochas e minerais, seguida por resfriamento rápido, que não permite a cristalização. Certos materiais são mais adequados para este procedimento, por exemplo, a sílica (SiO_2), na forma de quartzo, proveniente de arenitos. Como o ponto de fusão do quartzo é muito elevado ($1713\text{ }^\circ\text{C}$), adicionam-se certos ingredientes, como calcário (CaCO_3), carbonato de sódio (NaCO_3) e bórax ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$), para reduzir a temperatura de fusão (SKINNER, 1996).

Apesar de não poluente, é produzido por matérias primas naturais que não agredem o meio ambiente, o vidro não é biodegradável, ou seja, é um material que não se decompõe, diminuindo assim a vida útil de vários aterros sanitários já que ocupa um espaço desnecessário (ARMELLINI e FERNANDES, 2004).

De acordo com o Boletim Técnico do produto comercialmente denominado Microesfera de Vidro, fornecido pela empresa Abraspar Comercial de Abrasivos Ltda, o material é constituído por microesferas de vidro produzidas com vidro incolor de alta qualidade do tipo Soda-Cal, com teor de sílica nunca inferior a 65%. Contém padrão de esfericidade de no mínimo 80%, limpeza e uniformidade de tamanho. Possui ausência de material contaminante como ferro (Fe), carbono (C), chumbo (Pb) e outros, sendo, assim um material inerte e atóxico (MICROESFERA, 2005).

São usadas para aplicação em tintas para sinalização, com efeito retroreflexivo, e em pistolas de alta pressão, com efeito abrasivo uniforme e delicado.

Atende as exigências das NBR's: 6831:01 - Microesfera de vidro, 6823 – Resistência à solução de cloreto de cálcio; 6824 – resistência ao ácido clorídrico; 6825 – Resistência à água; 6827 – Resistência ao sulfeto de sódio; 6833 – Densidade de massa ($2,4\text{ g/cm}^3$ - $2,6\text{ g/cm}^3$).

2.6.3 Areia de Fundição

Segundo SPIN (2003), a definição de fundição de metais é qualquer processo de produção de elementos da indústria através da fusão e eventual solidificação em moldes, com a finalidade de produzir formas sólidas requeridas.

A areia utilizada é do tipo aglomerada com resina e cura a base de CO₂. A resina utilizada é do tipo fenol-formol. A areia misturada com a resina é colocada num molde da peça a ser reproduzida, no qual é injetado CO₂ para a cura da areia. Neste processo aproveita-se em torno de 40 % da areia utilizada, sendo o restante descartado como resíduo (BONET, 2002).

O resíduo formado neste processo é chamado areia de fundição, gerada na modelação de peças de ferro fundido, por apresentar fenol em sua composição, conforme Anexo C – Normativo, é considerado um resíduo Sólido Industrial Classe I - Perigoso, segundo a NBR 10004:2004,

A areia de fundição é conhecida também como areia de sílica com partículas extremamente pequenas (1 a 10 micra), com alto grau de expansão (BARTH, 2003).

2.6.4 Argila Taguá

Reutilizar resíduos sólidos industriais para confecção de produtos para a construção civil é uma opção que tem sido muito estudada por muitos pesquisadores no Brasil e em todo mundo. Para isto, procura-se agregar os rejeitos em uma matriz conhecida. Neste trabalho optou-se pela argila devido a sua plasticidade e característica fundente.

O taguá é um tipo de argila comum largamente utilizado na indústria de cerâmica vermelha. É uma rocha natural, constituída essencialmente por minerais argilosos, podendo conter outros minerais (não argilosos), além de matéria orgânica e outras impurezas. Contém elevado teor de partículas com diâmetro esférico equivalente (d.e.e) $\leq 2\mu\text{m}$, que quando umedecida torna-se plástica. Após a secagem apresenta-se resistente e rígida, e após a queima superior a 1000° C adquire grande dureza. Os minerais argilosos são rochas nas quais os minerais argilosos ocorrem só ou misturados em várias proporções com outros minerais, os

minerais não argilosos com d.e.e maior que $\leq 2\mu\text{m}$, tais como: quartzo, feldspato, mica, calcite, hematite, etc. (GOMES, 1988).

Umas das propriedades que as argilas apresentam, que favorece a inertização de resíduos sólidos tóxicos, é a capacidade de troca de cátions. Isto faz com que os metais encontrados na forma de íons, sejam adsorvidos pela argila em uso, porém não garante a possibilidade de estarem completamente inertes, tornando-se necessária à realização dos ensaios de lixiviação e solubilização no produto final após a adição do resíduo. Além disto, o próprio processo térmico potencializa as reações químicas entre os metais da lama e os demais componentes da massa (BALATON, GONÇALVES e FERRER, 2002).

2.7 APLICAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS EM MATRIZES DE ARGILA, VIDRO E CIMENTO

O levantamento dos trabalhos já realizados sobre adição de resíduos sólidos em base argilosa, vítrea ou cimento foi feito na literatura nacional e internacional. Dentre os trabalhos revisados são citados os apresentados nos 37º Congresso Brasileiro de Cerâmica (1993), 39º (1995), 41º (1997), 42º (1998), 45º (2001), 46º (2002), 48º (2004); 22º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, e os publicados *online* (Internet), com a pesquisa no *Science Direct* (CAPES); no *Journal of Hazardous Materials*; no *Google Scholar*, site *PubMed Services* e na *Nacional Library of Medicine*, entre outros. Os trabalhos publicados neste século que se destacaram apresentando propostas com bons resultados, são relacionados a seguir.

2.7.1 Lodo Galvânico e Lodos Similares Contendo Metais Pesados

ESPINOSA e TENÓRIO (2000) realizaram seu trabalho com lodo galvânico e os resultados obtidos foram: a) a adição de lodo galvânico com cromo, como elemento restritivo, até 2% na base de cimento não afetou as reações e os processos de clínquerização; b) o cromo não foi observado para este estudo de adição de lodo galvânico até 3%; c) a incorporação do cromo na massa foi eficiente,

pois não apareceu no lixiviado; d) a emissão de cromo na incineração do lodo foi menor que 0,1% em peso, portanto a incorporação do cromo foi de 99,9%; e) 80% do peso do material prensado era composto de cloreto de sódio e potássio.

CASTANHO e FERREIRA (2001) incorporaram lodos galvânicos em concentração até 23% com resíduos de vidro e feldspato visando a inertização dos metais pesados. O vidro tem a propriedade de incorporar uma variedade de elementos que tanto podem participar na formação da estrutura do vidro como também serem envolvidos pelo vidro durante o processo de fusão/fabricação.

SOARES et. al. (2001) avaliaram a incorporação de serragem de um curtume, contendo cromo em concentração de 10% em peso nas queimas de 900°C, 950°C, e constataram um ganho nos resultados de resistência à flexão se comparados à amostra de argila sem adição.

BASEGIO, BERUTTI e BERGMANN (2001) basearam seu trabalho na incorporação e inertização do lodo de um curtume, contendo metais pesados, fenóis e sulfetos. A avaliação foi realizada através de ensaios de emissões gasosas, lixiviação e solubilização. Os três corpos-de-prova para os testes de lixiviação e solubilização foram preparados: a) com 10% do lodo + 90% de argila; b) com 30% de lodo + 70% de argila; c) argila pura. Foram queimados a 1.180 °C com patamar de 2 horas. Os resultados mostraram que é possível a adição de 10% de lodo na massa cerâmica sem riscos de lixiviação. O teste de solubilização indica a impossibilidade de 30% de lodo na massa cerâmica devido ao arraste de chumbo para o solubilizado. Com os ensaios de emissões gasosas foi possível minimizar a liberação de odores com adição até 10% de lodo.

SUN, QIAN e LAI (2002) buscavam, com o uso da estabilização de metais pesados de fluídos catalíticos utilizando lodo marinho e mecanismos de encapsulamento para estabilizar o vanádio e o níquel. O encapsulamento é um processo onde o lodo marinho forma uma barreira física ao redor dos metais pesados, o que os impede de lixiviar ao meio ambiente enquanto a incorporação envolve a formação de ligações entre o lodo e os metais pesados que passam a serem incorporados na microestrutura da argila (cerâmica).

ASAVAPISIT e CHOTKLANG (2004) desenvolveram uma pesquisa para descobrir o potencial de solidificar o lodo galvânico numa matriz de cimento contendo poeira de incinerador (PFA *pulverized fuel ash*) e álcalis ativados (Na_2SiO_3 e Na_2CO_3). A mistura foi composta por 30% de cimento e com 70% do PFA. As

concentrações dos dois álcalis ativados foram de zero, 4%, 6% e 8% em peso. Os resultados obtidos foram um aumento na resistência das amostras contendo a mistura de cimento e PFA com os álcalis. Além disto, o metal não lixiviado dos resíduos solidificados com 8% de Na_2CO_3 foi menor do que a concentração nas amostras de 4 % de Na_2SiO_3 . Isto acontece provavelmente porque o pH dos lixiviados dos resíduos solidificados com 8% de Na_2CO_3 , na faixa entre 8.4 e 9.8, foi adequada para estabilizar mais hidróxidos metálicos. A conclusão foi de que há um aumento na força de resistência das amostras desenvolvidas com cimento e PFA na presença de álcalis ativados (Na_2SiO_3 e Na_2CO_3) e foi considerada maior do que as amostras sem estes compostos. A máxima força obtida foi nas concentrações de 4% e 8 % de Na_2SiO_3 e Na_2CO_3 , respectivamente. A adição do lodo galvânico diminui a resistência da amostra. As concentrações de Pb, Cd e Cu no lixiviado estão abaixo das detectadas no ensaio de absorção atômica e as concentrações de Cr, Zn e Fe foram detectadas. As quantidades de Cr, Zn, e Fe no lixiviado tendem a crescer quando ocorre aumento do pH. Os resultados mostram que as concentrações de Cr (5 mg/l), no lixiviado, excede ao valor da regulamentação da EPA quando o lodo galvânico é adicionado com mais de 10% e 20%.

BALATON, GONÇALVES e FERRER (2002), usando ensaios de lixiviação e solubilização, procuram comprovar a viabilidade de se inertizar metais pesados de lodo galvânico na massa cerâmica. Foram preparados os corpos-de-prova por extrusão a vácuo, conformados, secos, queimados nas seguintes temperaturas: 850 °C, 900 °C e 950 °C e, por fim, misturados a dois tipos de argila (25% de argila de Jundiá e 75% de argila de Suzano) para adequar as propriedades às necessidades das indústrias de telhas e tijolos. Nesta massa foi adicionado o resíduo de 2% e 5% de lodo galvânico sem lavar e 2% de lodo lavado. Analisando os resultados observa-se que na adição até 2% de lodo na massa não há alteração significativa nas propriedades mecânicas da cerâmica. Acima desta concentração pode-se notar a presença de eflorescência (semelhante à cristalização) na superfície da peça, explicada pela migração dos sais solúveis com a água. Assim, as amostras com 2% de lodo sem lavar e lavadas, queimadas a 900°C, foram aprovadas quanto ao seu aspecto físico, nas propriedades técnicas e nos testes de lixiviação e solubilização.

MAGALHÃES, SILVA, CASTRO e LABRINCHA (2004) demonstram que é viável estabilizar lodo galvânico em uma matriz de argila em queimas de altas temperaturas (850 °C-1050 °C), com o tempo máximo de queima variando de 3 a 70

horas. A quantidade de lodo úmido adicionada variou de 1% a 10%. A inertização foi justificada pela formação de uma camada a maioria dos metais, valores permitidos nos ensaios de lixiviação exceto para cromo trivalente, sulfatos, cálcio e traços de sílica.

MAGALHÃES, SILVA, CASTRO e LABRINCHA (2003) tiveram como objetivo, neste trabalho, analisar o comportamento das bases cerâmicas incorporadas com quatro composições de lodos distintas. A mistura entre o lodo galvânico e os materiais em base cerâmica foi de 1:1 em peso úmido. Uma amostra de 150 g de cada composto (previamente seco e peneirado 125 micra) e água destilada foi adicionada para atingir um peso total de 600g. As misturas foram lentamente agitadas durante 72 horas e secas a 110°C durante uma noite. As principais composições químicas das amostras de lodo seco foram: a) amostra A: 15,7% de alumínio; b) amostra J: 48,7% de níquel; c) amostra M: 9,14% de cromo; d) amostra Q: 42,5% de cobre.

A efetividade do processo de inertização foi avaliada nas misturas queimadas. Segundo os resultados apresentados parece ser possível a observação de uma tendência para a diminuição do nível de extração de espécies metálicas de lodos que apresentam uma maior concentração destes metais (isso foi observado para as amostras J e Q). No entanto, a amostra J teve o comportamento invertido, provavelmente devido às interações físicas, químicas e mecânicas. Portanto, é extremamente necessária uma efetiva interação entre os componentes do lodo e da cerâmica, ou transformando espécies no lodo em compostos mais estáveis, como os óxidos. Isso requer uma adequada célula de queima para que se atinja os mecanismos de micro ou macro-encapsulamento. Todas as amostras apresentaram uma menor lixiviação após a queima.

SILVA e CASTANHO (2004) desenvolveram um trabalho de incorporação de lodo galvânico em misturas variadas de vidro e sílica pulverizada para obter um vidro silicato. Na adição de 20% de lodo foi encontrado o melhor resultado ao ataque hidrolítico.

MAGALHÃES, SILVA, CASTRO e LABRINCHA (2004a) estudaram a cinética da imobilização do lodo em base cerâmica queimada e não queimada, quando realizado o ensaio de lixiviação com diferentes lixiviantes ácidos. Na queima ocorrem reações químicas e a formação de uma barreira física, entre as partículas da argila com o lodo as quais imobiliza os metais em forma de óxidos insolúveis. Os

resultados obtidos mostram que as amostras queimadas reduzem à metade dos teores de metais no lixiviado se comparados com as não queimadas.

TEIXEIRA, ALÉSSIO, SANTOS e DIAS (2004) utilizam lodo de Estação de Tratamento de Água em uma matriz argilosa com o objetivo de avaliar a possibilidade de utilização deste resíduo na indústria de cerâmica. Foram confeccionados corpos de prova, uniaxialmente em triplicata, usando argilas com 0%, 10%, 15%, e 20% de lodo. Constataram no resultado obtido que a incorporação é possível, porém com limites, ou seja, a concentração do lodo não deve exceder determinada porcentagem para não alterar as propriedades de absorção de água e retração linear de uma cerâmica normal. Como as amostras de lodo foram coletadas em vários meses, os resultados apresentados foram diferentes. Este resultado pode estar associado com o efeito da composição granulométrica das amostras na sinterização. Foi observado que, em geral, a incorporação de lodo piora as propriedades das peças cerâmicas. Os corpos de prova queimados até 1000° C apresentam boa retração linear (<5%). Os valores de absorção de água variam pouco até 1000° C. Para temperaturas maiores, ela é maior que 20%, que é o valor recomendado para produção de telhas. Todas as amostras com mistura de lodo apresentam boa resistência mecânica à flexão para produzir tijolos maciços, variando de 40,99 a 119,51 kgf/cm². O módulo de resistência à flexão variou pouco até 900 °C, diminuiu para 1.000 °C e aumenta para > 1.100 °C.

2.7.2 Vidro como Fundente

BRAGANÇA e BERGMANN (2004) comparam as propriedades mecânicas de uma porcelana que utiliza vidro tipo soda-cálcico como fundente, em substituição ao feldspato, com uma porcelana tradicional e constataram que apesar da incorporação do vidro na massa diminuir o módulo de ruptura e a densidade da porcelana, apresentou a vantagem de ter o tempo de queima reduzido em 100 ° C.

GODINHO, RABELO, HOLANDA e SILVA (2004) investigam o efeito da adição de pó de vidro na concentração de 6%, sobre a absorção de água e retração de queima.

OLIVEIRA, CARRER, CORRÊA-SILVA et al (2004) fazem ensaios de incorporação de vidro nas concentrações de 3%, 5%, 7% e 10% na cerâmica vermelha.

LUZ e RIBEIRO (2004) também desenvolvem seu trabalho analisando a incorporação de pó de vidro na argila em substituição ao feldspato como fundente.

2.7.3 Areia de Fundição como Estabilizador de Tamanhos

BONET (2002) estudou o reaproveitamento dos resíduos de areia de fundição (RAF) nas massas asfálticas do tipo concreto betuminoso usinado a quente (CBUQ). Os resultados foram satisfatórios comprovando a viabilidade técnica da incorporação de 8% dos RAF no traço de massa asfáltica em CBUQ.

A CETESB (2003) dissemina e incentiva a adoção de medidas de Produção mais Limpa no Estado de São Paulo com estudo de Reuso de Areia de Fundição e Reciclagem de Resíduos da Recuperação da areia de fundição.

HÖRLLE, BASEGLIO e BERGMANN (2004) desenvolvem um trabalho com areias provenientes de processo de fundição (areia verde, macharia do processo *Cold Box*, e macharia do processo CO₂, conhecido como Magazine, e pó de exaustão) para incorporação na argila vermelha na intenção de minimizar este tipo de resíduos nos aterros industriais.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo são apresentadas as metodologias adotadas para as duas etapas que foram necessárias para a realização deste trabalho. Na primeira fase, apresenta-se a indústria prestadora de serviços na área galvanotécnica, os fluxogramas de produção e o desenvolvimento do plano de ação para minimização de resíduos sólidos; na segunda fase apresentam-se os desenvolvimentos dos testes laboratoriais para obtenção de um novo produto, através do reuso de dois dos mais significativos resíduos deste segmento, lodo galvânico e poeira de jateamento.

3.1 MATERIAIS DA MINIMIZAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS

Os materiais da minimização de resíduos sólidos especiais industriais constaram de:

- a) indústria com um setor galvanotécnico;
- b) material de divulgação para funcionários sobre o Programa de Gerenciamento de Resíduos Sólidos – PGRS: *banner*, CD, etc.;
- c) recipientes diferenciados para separação dos resíduos;
- d) tambores para segregação dos materiais para reuso;
- e) caçambas para destinação final adequada dos resíduos;
- f) tubulações e tanques para segregação das águas residuárias que geram os lodos galvânicos;
- g) bandejas para secagem do lodo galvânico na indústria;
- h) licenças ambientais que definem a destinação de Resíduos Sólidos Tóxicos.

3.2 METODOLOGIA APLICADA NA MINIMIZAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS

Esta etapa foi desenvolvida em indústria prestadora de serviços de tratamento de superfícies para as indústrias automotivas na Região Metropolitana de Curitiba (RMC).

Os tratamentos químicos executados nas linhas de produção são:

- a) Zinco Ácido;
- b) Zinco Ferro;
- c) Zinco Alcalino isento de cianeto e suas cromatizações.

O período para o desenvolvimento do trabalho foi de 12 meses e a primeira fase direcionou-se para a minimização de resíduos gerados na indústria. As etapas que se seguiram foram:

- a) reconhecimento dos processos químicos executados pela indústria;
- b) diagnóstico da situação atual dos resíduos da indústria através do levantamento inicial dos resíduos sólidos gerados dentro do setor galvanotécnico;
- c) identificação, quantificação e caracterização de todos os resíduos sólidos encontrados;
- d) apresentação de um PGRS para os resíduos encontrados para auxiliar as ações de minimização;
- e) implantação das ações de minimização de resíduos, visando à prevenção da poluição, resultando numa produção mais limpa;
- f) apresentação dos resultados obtidos das ações aplicadas.

3.2.1 Fluxogramas

3.2.1.1 Fluxograma Geral do Processo Produtivo

No fluxograma geral de produção (Figura 8) estão indicadas todas as etapas percorridas pelas peças processadas na indústria. Na linha de produção são gerados os resíduos industriais tóxicos e não tóxicos. Quase todos os setores são responsáveis por gerar algum tipo de resíduo sólido, o que poderá ser observado na descrição do processo produtivo (Anexo 3).

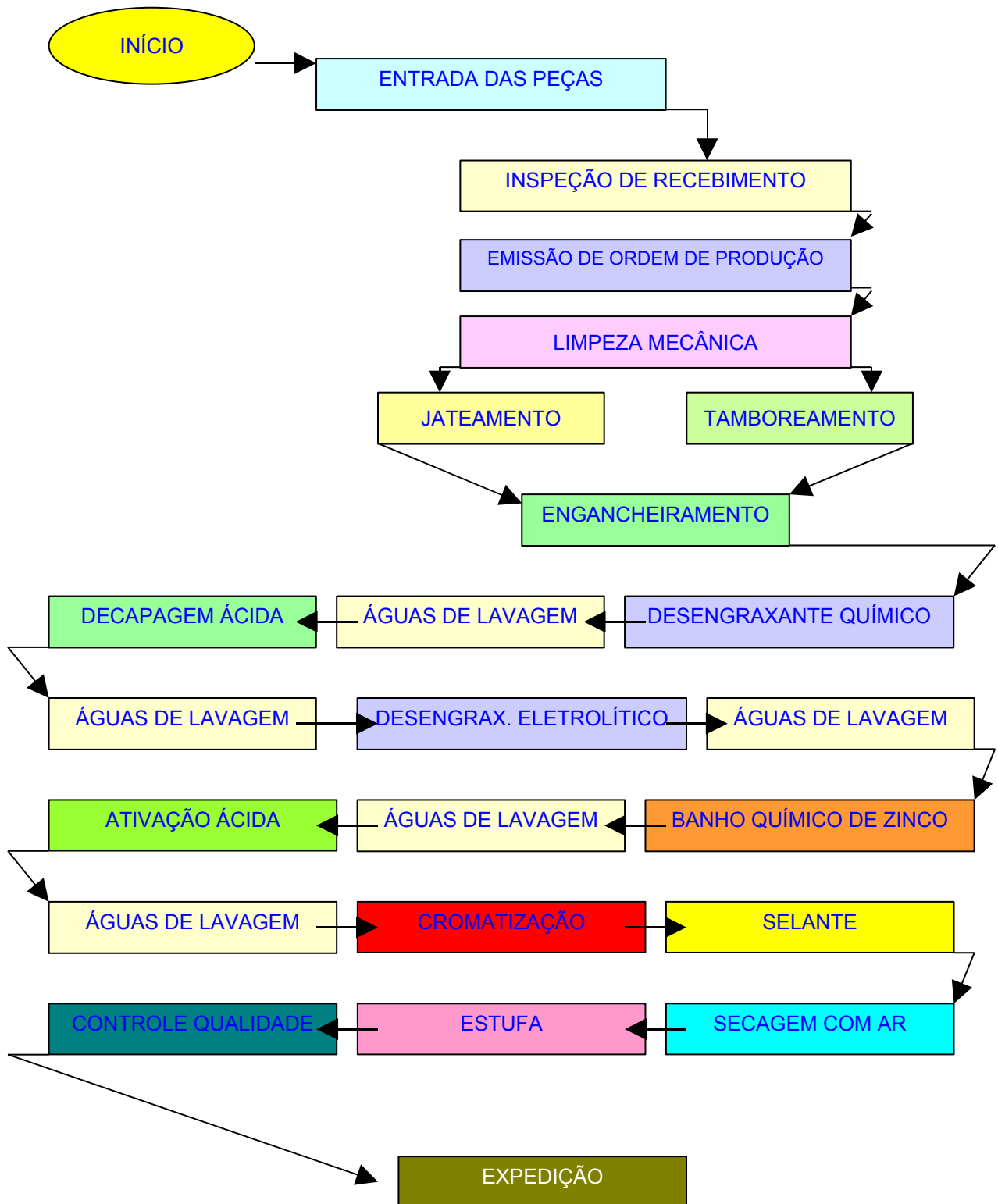


Figura 8 - Fluxograma geral do processo de Zincagem

3.2.1.2 Fluxograma Genérico das Linhas de Zinco e Cromatizações

No fluxograma genérico das linhas de zinco e cromatizações (Figura 9) estão identificados os pontos de geração do lodo galvânico e poeira de jateamento.

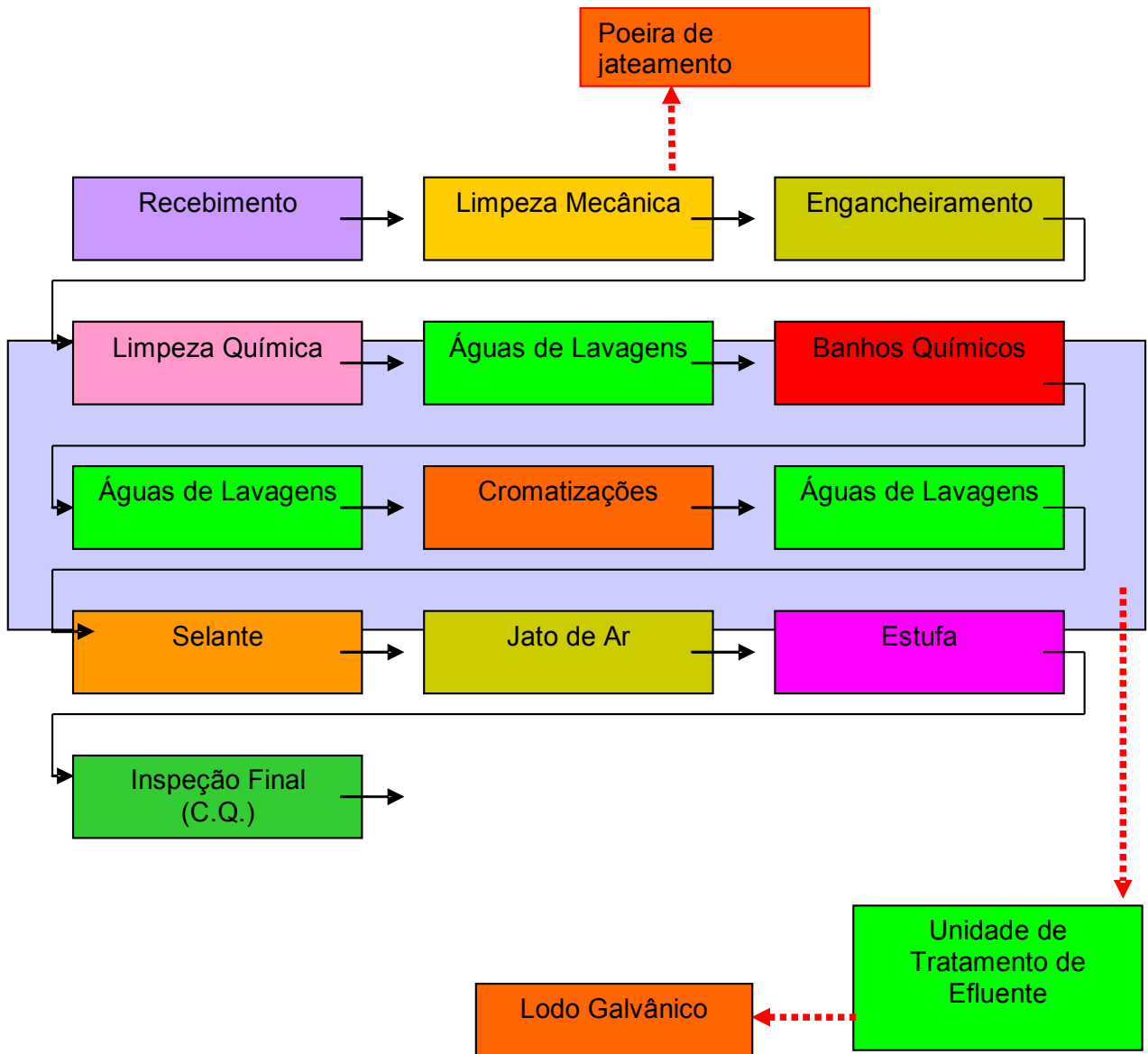


Figura 9 - Fluxograma genérico das linhas de zinco e cromatizações

Desenho esquemático

3.2.2 Resíduos Sólidos da Indústria

3.2.2.1 Diagnóstico Inicial do Estudo de Caso

Inicialmente foi realizado um diagnóstico da situação real da indústria onde o trabalho foi desenvolvido, com a observação de como eram feitos os descartes de resíduos sólidos, como estes eram gerados, onde eram descartados e como eram destinados para disposição final. Estes dados foram levantados através da observação diária nas caçambas de descartes e no acompanhamento dos comportamentos dos funcionários que geram os resíduos. Todos os dados são anotados e reservados para a avaliação geral.

No primeiro momento, foi encontrado um único tipo de resíduo, o tóxico industrial. Não pelo fato da indústria não gerar outros tipos de resíduos, mas por não segregá-los adequadamente, misturando-os todos em uma caçamba única, o que promovia a contaminação dos não tóxicos e recicláveis.

Esta carga era retirada semanalmente (4 caçambas/mês) e encaminhada para o aterro sanitário, por empresas terceirizadas, autorizadas para o transporte de resíduos urbanos na região metropolitana. Observando-se a caçamba pode-se avaliar a problemática das misturas no início do levantamento (Figura 10), onde não há critérios de separação nem de segurança quanto ao manuseio de produtos tóxicos.



Figura 10 – Caçamba coleta de resíduos fora da indústria

O que se constatou é que este tipo de sistema de coleta através de caçambas ainda não está sendo bem fiscalizado pela administração pública, permitindo a mistura de resíduos sólidos industriais, entulhos de construção civil e resíduos domiciliares, quando destinados para o aterro sanitário municipal. Percebe-se também que as indústrias não despertaram ainda para sua real responsabilidade quanto aos seus resíduos tóxicos.

Para que fosse possível avaliar quais os resíduos sólidos realmente eram gerados dentro da indústria foi preciso retirar a caçamba da rua e colocá-la na área interna. Fora da indústria a característica do resíduo descartado era de difícil identificação devido a grande variedade de materiais que não eram provenientes propriamente da indústria. Boa parte do material doméstico era oriunda das residências vizinhas.

Durante esta etapa de acúmulo, pode-se observar que o volume coletado foi consideravelmente menor em relação ao período de descarte da caçamba na rua. No interior da indústria observa-se apenas os descartes característicos das atividades industriais do setor galvanotécnico, com volumes consideravelmente menores do que os gerados fora da indústria (Figura 11).



Figura 11 - Caçamba dentro da indústria

3.2.2.2 Identificação, Classificação e Quantificação

Após 30 dias da retirada da caçamba da rua e posicionada no pátio, ela tornou-se cheia dos resíduos sólidos próprios da indústria. O próximo passo foi reunir os funcionários para participar do reconhecimento do material descartado e proceder à classificação, baseando-se na classificação do Compromisso Empresarial para Reciclagem - CEMPRE, em resíduo doméstico, resíduo comercial e resíduo industrial.

A partir daí, à medida que os resíduos eram gerados, já eram direcionados para seus recipientes e registradas as quantidades descartadas individualizadas.

As descrições dos resíduos segundo a classificação adotada são feitas a seguir e no Quadro 1 estão relacionados os materiais de cada grupo.

3.2.2.2.1 Resíduos Domésticos

São os resíduos provenientes dos sanitários e refeitórios, ou seja, os materiais resultantes das atividades normais do dia a dia de uma população: alimentação, uso de sanitários, ações de limpeza, lanches, etc.

3.2.2.2.2 Resíduos Comerciais

São os resíduos provenientes dos escritórios administrativos e recepção, ou seja, materiais resultantes das atividades normais dos escritórios do setor administrativo.

3.2.2.2.3 Resíduos Industriais

São os resíduos provenientes dos processos químicos e demais atividades industriais, ou seja, são materiais resultantes das atividades industriais. Podem ser ou não tóxicos.

Quadro 1 – Descrição dos resíduos sólidos na indústria

Resíduos	Tipo	Descrição
Domésticos	orgânicos	restos de alimentos
	rejeitados ou contaminados	papéis, plásticos e outros materiais sujos, não tóxicos
	recicláveis	plásticos, vidros, papéis, ...
	não recicláveis	ainda não possuem tecnologia para reciclagem: embalagens metalizadas de salgadinhos, papéis de bala,...
	tóxicos	embalagens de inseticidas, pilhas, latas de tinta e solventes,...
Comerciais	recicláveis	plásticos, vidros, papéis,
	não recicláveis	ainda não possuem tecnologia para reciclagem
Industriais	recicláveis	plásticos, vidros, papéis,...
	inertes	poeira de jateamento
	tóxicos gerais	materiais sujos de produtos químicos, embalagens de produtos químicos, borra dos banhos, resíduos dos pisos das áreas produtivas (sujeira de varredura)
	tóxico	lodo de estação de tratamento

3.2.2.3 Quantificação para Reuso

Com enfoque no objetivo deste trabalho, neste item será feita apenas a quantificação dos resíduos sólidos industriais de interesse para introduzi-los aos testes laboratoriais para reuso. Em Anexo consta, na íntegra, a quantificação e a implantação das ações de minimização para todos os resíduos sólidos encontrados na indústria em estudo e os resultados alcançados (ver Anexo 4).

3.2.2.4 Lodo Galvânico ou Lama Galvânica

O lodo, ou lama, gerado na Unidade de Tratamento de Efluente (UTE) constitui-se em um sólido ou pasta, com alto teor de metais pesados, apresentando riscos à saúde humana tanto por ser manuseado inadequadamente quanto pelo aspecto ambiental, e conseqüente impacto, que representa se acondicionado e descartado de maneira incorreta.

Para que fosse possível sugerir ações de minimização, durante um período de três meses, foram observados os operadores trabalhando na linha de banhos químicos e no tratamento físico químico das águas residuárias, também sem interferir nos métodos por eles adotados, e avaliados todos os fatores que contribuíam para a geração deste resíduo. Neste tempo, registrou-se a quantidade de lodo gerado por dia na UTE. Na relação de efluente descartado e lodo gerado pode-se ver o volume de lodo úmido gerado mensalmente pela indústria no início do trabalho (Tabela 1).

Tabela 1 – Relação de efluente descartado e lodo gerado

Volume tratado Média/dia m ³	Tambor de lodo úmido gerado tambor/mês	Massa kg/dia	Total descartado de lodo úmido T/mês
6	10*	90*	1,8

* valor aproximado

3.2.2.5 Poeira de Jateamento

Apesar de não ser um resíduo tóxico, o resíduo gerado nas máquinas de jateamento, no setor de limpeza mecânica das peças, constitui-se num pó extremamente fino. Apesar deste processo ser executado em cabinas fechadas e com sistema de exaustão, seu manuseio para abastecimento das máquinas faz com que se mantenham em suspensão no ambiente por algum tempo e é prejudicial à saúde humana se respirado sem proteção de máscaras filtrantes. Quando lançado

nas caçambas traz o inconveniente do excesso de pó no ar, além de ser um material de baixa degradabilidade, ocupando desnecessariamente aterros sanitários, ou pior ainda, assoreando rios e lagos quando descartados indevidamente em fundos de vales. Apresenta um grande potencial de reciclagem, por se tratar de puro vidro.

Para que fosse possível sugerir ações de minimização, durante um período de três meses, foram observados os operadores trabalhando, sem interferir nos métodos por eles adotados. Neste tempo, registrou-se a quantidade de microesferas de vidro (MV) que era abastecida nas máquinas diariamente. Com o consumo de microesfera de vidro, pode-se ter o volume de poeira de jateamento que era descartado mensalmente pela indústria (Tabela 2).

Tabela 2 – Consumo de microesfera de vidro

Volume abastecido nas máquinas kg/mês	Total descartado de poeira de jateamento kg/mês
850*	850*
* valor aproximado	

As quantidades apresentadas na Tabela 2 coincidem com o relatório de compra deste produto no período de janeiro de 2004 a janeiro de 2005.

3.2.2.6 Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos

O PGRS foi sugerido neste trabalho como auxiliar na implantação das ações de minimização dos resíduos sólidos gerados na indústria.

Outro auxílio foi obtido através da Educação Ambiental usada na busca das melhorias dentro da indústria. As informações foram ministradas já no início do projeto, e usaram-se materiais de divulgação como *banners*, vídeos e proferidas palestras sobre os conceitos que abordaram meio ambiente, aumento populacional e industrial, sustentabilidade e o limite de sustentabilidade do ecossistema, produção mais limpa, minimização de resíduos e reciclagem, resíduos sólidos e coleta seletiva. Foram abordados também temas como maneiras de reduzir o consumo,

reciclar o possível e destinar adequadamente os resíduos, de acordo com suas características químicas e físicas.

Destaque foi dado, para o setor galvanotécnico quanto ao comportamento dos operadores e métodos de produção que estavam sendo adotados.

Para dar suporte ao desenvolvimento do trabalho foi criado o Projeto *Nosso resíduo tem valor*, com as seguintes etapas:

- a) comprometimento da diretoria;
- b) conscientização ambiental: apresentações para todos os participantes (diretoria e funcionários);
- c) treinamentos no local para reconhecimento de todo material; identificação dos tipos de resíduos existentes dentro da indústria e suas chances de redução e reuso;
- d) divulgação dos métodos de Produção Mais Limpa;
- e) adaptação de instalações para melhorar processos;
- f) recipientes separados e diferenciados para coleta;
- g) armazenamento adequado e identificado;
- h) destinação específica;
- i) disposição final apropriada.

De acordo com o CEMPRE, a separação correta e criteriosa é uma etapa fundamental no gerenciamento de resíduos, pois permite o tratamento diferenciado, a racionalização de recursos despendidos e facilita a reciclagem. A segregação é importante porque evita a mistura de resíduos incompatíveis e reduz o volume de resíduos perigosos a serem tratados. Além disso, devem ser observados os seguintes aspectos:

- a) a separação deve ser realizada no local de origem;
- b) separar resíduos que possam gerar condições perigosas quando combinados;
- c) evitar misturas de resíduos líquidos com resíduos sólidos.

a Resolução CONAMA nº 275/2001, as cores para lixeira de coleta de resíduos sólidos são universais e a cada cor resíduos corresponde um tipo de resíduo (Quadro 2).

Quadro 2 – Cores de lixeira para cada tipo de resíduo

Cor	Resíduo
Azul	Papel e Papelão
Vermelho	Plástico
Verde	Vidro
Amarelo	Metal
Preto	Madeira
Laranja	Resíduos Perigosos
Branco	Resíduos Ambulatoriais e de serviços de saúde
Roxo	Resíduos Radioativos
Marrom	Resíduos Orgânicos
Cinza	Resíduo geral não reciclável contaminado ou contaminado não passível de separação

Na indústria em estudo, as cores adotadas foram escolhidas pelos funcionários de acordo com o que era mais significativo para eles. Assim, as cores para os primeiros meses de treinamento do gerenciamento dos resíduos sólidos dentro e nos pátios da indústria do PGRS *Nosso Resíduo tem Valor* são as que constam do Quadro 3.

Quadro 3 – Cores dos recipientes do PGRS *Nosso Resíduo tem Valor*

Recipientes dentro das instalações	
Vermelho	Orgânicos e contaminados (rejeitados)
Verde	Todos os recicláveis (papéis, plásticos, metal, vidro, pet, etc.)
Preto	Tóxicos gerados nos processos.
Latões, caçambas e containeres no pátio	
Azul	Lodo galvânico e poeira de jateamento
Vermelho	Orgânicos e contaminados (rejeitados)
Verde	Sucatas metálicas
Laranja	Tóxicos domésticos e industriais

A Figura 12 (a, b) mostra os recipientes que foram usados na indústria para o gerenciamento dos descartes de resíduos.



Figura 12 – Recipientes de coleta na indústria
a) no pátio b) na área interna

3.2.2.7 Minimização

As ações de minimização dos resíduos sólidos, aqui mencionadas, são direcionadas para os resíduos industriais de interesse para o reuso. As ações para os demais resíduos sólidos encontrados na indústria são descritos no Anexo 3.

Os resíduos industriais são de responsabilidade do gerador e o custo do gerenciamento é bastante alto, por isto, é vantajoso, para a indústria, priorizar a

minimização na fonte, a segregação adequada e a destinação para reciclagem e reuso, para que se reduza ao máximo o gasto com coprocessamentos e disposição em aterros industriais e eliminem-se os riscos de notificações e multas por parte dos órgãos ambientais, por ser um poluidor.

No Quadro 4 é apresentado o levantamento dos resíduos sólidos industriais de interesse em reuso, a descrição da problemática encontrada, o setor gerador, as quantidades descartadas e as ações de minimização sugeridas para implantação.

Quadro 4 – Levantamento de resíduos sólidos de interesse em reuso

Resíduo	Problemática	Setor Gerador	Qtid. aprox	Ações de minimização
lodo do setor galvanotécnico (lodo ou lama galvânica)	<ul style="list-style-type: none"> -grandes volumes gerados devido ao excesso de efluentes descartados indiscriminadamente e concentração de metais muito alta -acondicionamento impróprio aumentando riscos de impactos ambientais e o peso para o envio de coprocessamento. 	UTE	2* t/mês	<ul style="list-style-type: none"> -treinamento do operador quanto às técnicas de manuseio das gancheiras para evitar arrastes e conseqüente saturação das águas de lavagens e contaminação dos banhos. -melhorias nas instalações e equipamentos -destinação para reciclagem dos efluentes concentrados de cromo. -acondicionamento e descarte adequados. -incorporação em massa cerâmica para reuso (2ª fase do trabalho).
areia de jateamento	<ul style="list-style-type: none"> -grandes volumes descartados indiscriminadamente. -acondicionamento e descartes inadequados. 	limpeza mecânica	600 kg/mês	<ul style="list-style-type: none"> -treinamento do operador para um controle consciente do uso. -verificação da vida útil das microesferas de vidro pela eficiência da abrasividade. -condicionamento e descarte adequados. -busca por recicladores de vidro -incorporação em massa cerâmica para reuso.(2ª fase do trabalho)
* de lodo úmido				

Em toda observação criteriosa nas linhas de produção, nota-se que a cultura dos operadores, no que diz respeito aos métodos de fabricação adotados, tem papel preponderante para as mudanças dentro de uma indústria. Desta forma, fica inviável

a sugestão de qualquer mudança em procedimentos e instalações sem promover um treinamento adequado a todas as pessoas envolvidas no processo produtivo. Por isso descrevem-se as ações de minimização e as medidas adotadas

3.2.2.7.1 Lodo Galvânico

O lodo galvânico apesar de ser um resíduo sólido tem sua origem nos descartes de líquidos como os derramamentos dos banhos químicos nos pisos, os sistemas de águas de lavagens e os descartes descontrolados e não segregados. Todos são direcionados para a UTE onde são tratados tendo como resultado água clarificada e lodo precipitado.

As ações de minimização são assim descritas:

a) treinamento dos operadores: melhor aproveitamento dos espaços nas gancheiras, otimizando o processo, promovendo maior produção com menos banhos executados e menos retrabalhos; o carregamento das gancheiras, na maioria dos casos, somente é feito de um lado, porém, quando se trata de peças planas e pequenas, as gancheiras poderão ser carregadas dos dois lados, cuidando para que uma peça não fique atrás da outra, de maneira que não atrapalhe na passagem da solução entre as peças (GALVANOTECHNIK, 1973) e a correta disposição das peças nas gancheiras poderá significar uma redução no consumo de águas de lavagem; as peças devem ser dispostas ligeiramente inclinadas de modo a facilitar o escoamento do líquido; peças inadequadamente dispostas na gancheira poderão acumular restos de banho, principalmente quando as peças possuem concavidades (BERNARDES, 2000) e aguardar alguns segundos para o escoamento; em geral, ao retirar a gancheira de um determinado banho, o operador deveria aguardar até o completo escoamento do líquido de volta para o tanque, antes de levar a peça para ser lavada, para que assim fossem diminuídos os arrastes dos banhos e o volume de efluente a ser tratado (SCHELLE, 1998), evitando o excessivo arraste das soluções tanto para os pisos quanto para as águas de lavagens que saturam mais rapidamente, além de contaminarem os banhos seguintes com conseqüente perda de matérias primas. Estima-se que ao escorrer a peça sobre o tanque haja a recuperação de até 90% do arraste de

solução (CENTRO MEXICANO PARA LA PRODUCCIÓN MAS LIMPIA, 1997);

b) melhorias das instalações e equipamentos: aumento da bacia de contenção na área dos banhos para melhorar o fluxo das peças durante as lavagens e cromatizações; mudança do sistema de águas lavagem de alimentação contínua para um sistema de rescaldo associado à cascata como mostrado na Figura 13; a implantação de um tanque estático ou de recuperação é uma medida que reduz as perdas por *drag out* (CENTRO MEXICANO PARA LA PRODUCCIÓN MAS LIMPIA, 1997).

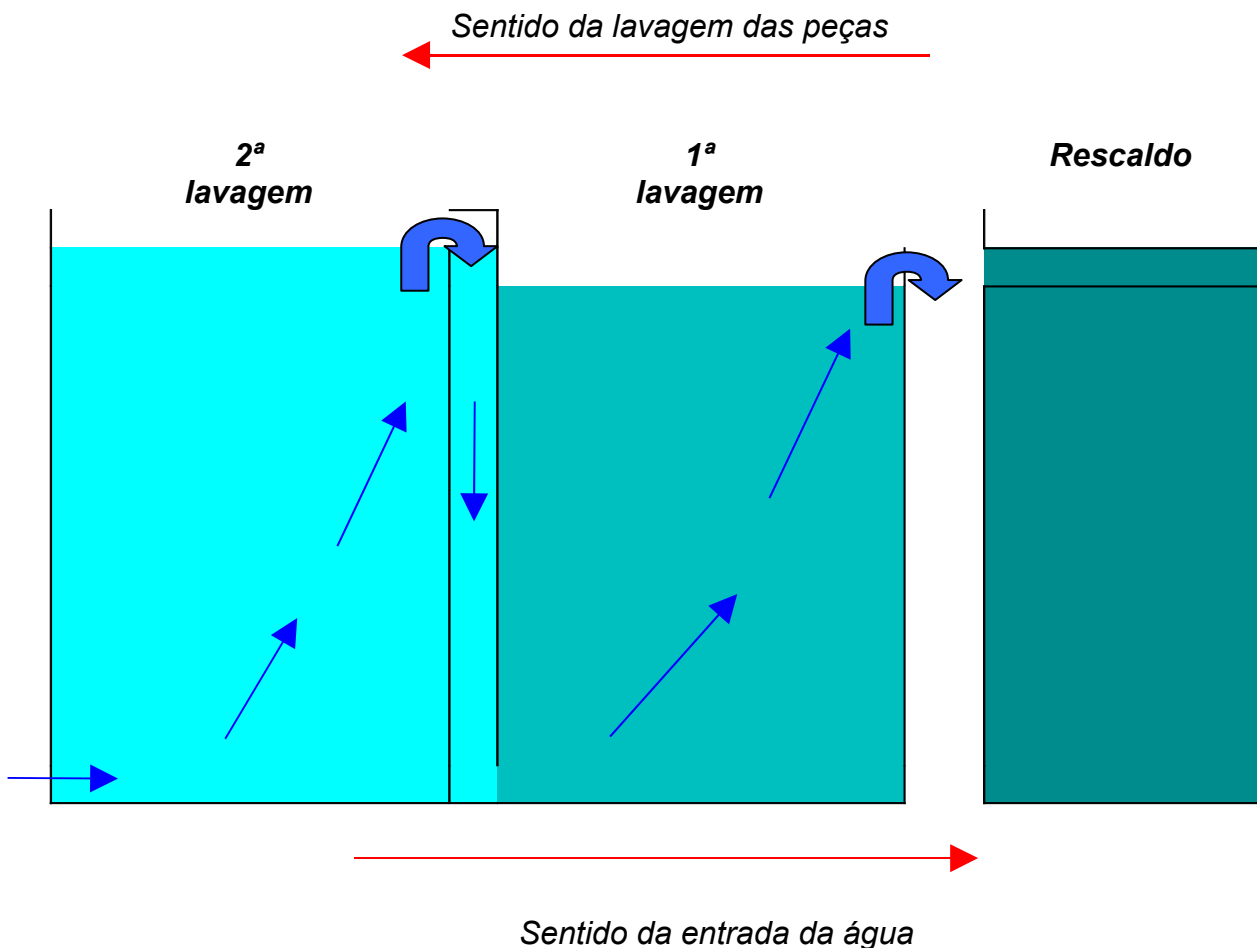


Figura 13 - Sistema de lavagem das peças - desenho esquemático

Nos tanques de lavagem em cascata, o enxágüe consiste em tanques com entrada contínua de água corrente em contra-corrente ao fluxo das peças. Desta forma, adiciona-se água limpa ao ultimo tanque de enxágüe, enquanto a peça é

mergulhada no primeiro tanque e faz o caminho inverso. Assim, o primeiro tanque de enxágüe apresenta, logo após o banho, uma concentração de poluentes bem menor do que o último, onde a água limpa está sendo adicionada (BERNARDES, 2000).

A segregação dos descartes é feita de acordo com sua classificação, em canaletas com tubulações específicas para cada tipo de efluente; são encaminhados para tanques de acúmulos próprios, também separados, como é descrito no Quadro 5.

Quadro 5 – Classificação de efluentes líquidos inorgânicos

Origem	Classificação	Sub Classe	Processos
Provenientes de Processos Galvânicos, Usinagem de Metais, Tratamento Térmico, Curtumes, Siderúrgicas e Metalurgia Primária em Geral	Inorgânicos	Crômicos Cr 6+	Cr Decorativo Cr Duro Passivadores
		Cianídricos	Cu e Zn Alcalino Ag e Au E Desengraxe
		Quelatzados Complexados	Ni e Cu Químico Passiv. P/ Fe E Al
		Óleo Solúvel	Usinagem de Metais Retífica de Metais
		Gerais Inorgânicos	Fosfatos – Zn Ácido Ni Eletrolítico Cu Ácido – Anodizações Outros - Cr ³⁺
		Óleos e Graxas Insolúveis	Limpeza Química

Com este sistema de segregação facilita-se o processo físico-químico dos efluentes gerados e se reduz a quantidade de produtos químicos usados na unidade de tratamento. Para tanto, deve-se separá-los em efluentes ácidos, alcalinos e crômicos. As tubulações de saída dos respectivos tanques de lavagem deverão ser

direcionadas para drenagens de piso independentes e separadas” (SCHLEUDERER, 2000).

Na Figura 14 apresenta-se um esquema simplificado de como funciona a separação dos descartes na linha.

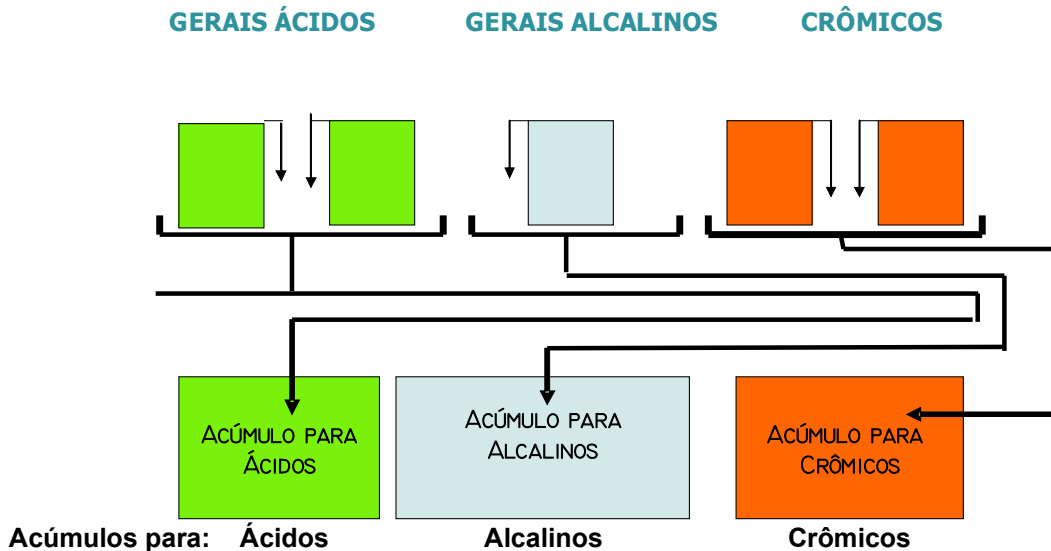


Figura 14 – Segregação de efluentes - desenho esquemático

A instalação de um sistema de circulação do banho de desengraxe químico foi feita para retirada do óleo sobrenadante, evitando o arraste de óleos e graxas para as águas de lavagens, obrigando descarte destas águas com menor periodicidade.

O aumento no número de placas do filtro-prensa foi feito para permitir um período maior de limpeza entre cada prensagem, promovendo uma retirada maior de volume de água da torta. A secagem do lodo reduzirá os custos com a destinação final, uma vez que se paga por quilo o transporte e destinação final de lixo tóxico (PONTE, 2002).

Outra ação adotada para reduzir o volume de água do lodo prensado foi a construção de suportes para bandejas contendo lodo, dispostas ao sol, para redução do volume e peso.

Na destinação para reciclagem dos efluentes concentrados de cromo, as soluções concentradas contendo ácido crômico serão bombonadas e encaminhadas para reciclagem em empresa recicladora de cromo para reaproveitamento. Nos casos em que a concentração de cromo na solução não é interessante para

reaproveitamento, a mesma será bombonada e tratada dentro de uma programação de descartes ácidos para facilitar o processo físico químico e economia de produtos químicos de tratamento.

O acondicionamento e descarte adequados são feitos atendendo à NBR 12235:87 - Armazenamento de resíduos sólidos perigosos, em tambores fechados e em local abrigado, garantindo a proteção quanto às águas de chuva e conseqüentemente, a redução do peso do material para coprocessamento.

A incorporação em massa cerâmica para reuso corresponde à segunda fase do trabalho.

3.2.2.7.2 Poeira de Jateamento

No início do levantamento foi observado um grande volume desta poeira sendo descartada de maneira inadequada e antecipada, com as seguintes ações de minimização:

- a) treinamento dos operadores a fim de informá-los da necessidade de utilizar a MV de maneira controlada, sem derramamentos e desperdícios;
- b) acompanhamento no setor de jateamento inspecionando a qualidade das peças jateadas coma MV reticulada, isto é, recircular mais vezes antes de descartar a poeira;
- c) criados espaços definidos e identificados no setor de jateamento e na área de depósito da indústria para onde foram encaminhados os descartes que passou a ser armazenado para posterior destinação para reciclagem;
- d) pesquisas, no mercado de reciclagem de materiais, foram feitas na busca de empresas interessadas por este material;
- e) estudos em laboratório para reusá-la na inertização dos resíduos tóxicos incorporados na massa cerâmica: segunda fase do trabalho.

3.3 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS DOS TESTES E ENSAIOS LABORATORIAIS

A escolha dos materiais para o preparo dos corpos-de-prova se deram pelas seguintes razões:

- a) **lodo galvânico**: foi utilizado como objetivo principal deste trabalho, devido ao seu grande potencial poluidor e a problemática que envolve a sua disposição final quanto à toxicidade e ocupação de espaço físico;
- b) **poeira de jateamento**: que também é um resíduo das indústrias metalúrgicas e podem apresentar potencial tóxico, devido a possibilidade de arraste de metais pesados das peças metálicas, além de ocupação de grandes volumes na sua disposição final, foi utilizada como proposta de reuso, aproveitando sua característica fundente;
- c) **areia de fundição**: por apresentar potencial de grandes volumes nas indústrias de fundição, foi utilizada como elemento de estabilização do tamanho do material cerâmico, proposta deste trabalho;
- d) **argila**: único elemento natural, foi utilizada como plastificador e ligante no processo de pré-queima como facilitador do manuseio para processos tecnológicos.

Os materiais usados consistem em misturas de diversas concentrações de:

- a) lodo galvânico: retirado da unidade de tratamento de efluente de um setor galvanotécnico da linha de Zinco e cromatos de uma indústria da RMC;
- b) poeiras de jateamento: retirada do descarte do processo de limpeza mecânica de um setor galvanotécnico de uma indústria da RMC;
- c) areia de fundição: concedida por uma fundição próxima de Curitiba, do processo de cura a frio;
- d) argila: tipo Taguá, coletada na jazida de Campo do Tenente. RMC.

Os equipamentos usados são:

- a) moinho de galga para triturar;
- b) pulverizador de Carbetto de Tungstênio;
- c) estufa com temperatura controlada entre 100–110° C;
- d) peneiras de inox Mesh de inox 35;
- e) balança digital, 500 g e 2000 g;
- f) prensa uniaxial para briquetagem;
- g) cronômetro digital para controle do tempo de prensagem;

- h) molde de aço temperado 60 X 20 mm;
- i) forno “*Linn Elektro-Therm*” com controle de temperatura até 1300° C e com termopar de Pt-Pt/Rh e cones pirométricos com variação de 5° C;
- j) paquímetro digital com 2 casas Mytotoyo, para conferências das dimensões;
- k) equipamento Universal de Ensaio, Marca EMIC, Modelo DL 2000, para ensaios de resistência a flexão em 2 pontos;
- l) mufla para perda a fogo;
- m) equipamento Raio X Difractometria - Philips modelo PW 1830;
- n) equipamento Raio X Fluorescência Equipamento Philips modelo PW 2400;
- o) metalização de ouro – Metalizador Baltec 005 – evaporação catódica à vácuo;
- p) microscópio Eletrônico de Varredura - com equipamento JSM-6360;
- q) vidrarias de laboratório e equipamento de proteção individual – EPI (máscara e luvas).

3.4 METODOLOGIA NOS TESTES LABORATORIAIS: PREPARAÇÃO DO MATERIAL

Esta etapa foi desenvolvida no Laboratório de Tecnologia Ambiental -LTA do da Universidade Federal do Paraná - UFPR. Testes Laboratoriais são os procedimentos utilizados para selecionar combinações de misturas e preparo dos corpos-de-prova.

3.4.1. Preparo dos Materiais

3.4.1.1 Lodo Galvânico

Retirado diariamente, por período de 30 dias, das bandejas de secagem, um quilo de lodo seco de cada batelada, tratada na UTE, e acondicionado em um tambor.

A mistura gerada é composta por uma mistura de lodos provenientes do tratamento físico químico de efluentes concentrados e diluídos, na mesma proporção, da linha de zincagem e cromatizações, apresentando uma característica química reproduzível. Apresenta-se na forma de grumos secos de diversos tamanhos.

A mistura foi submetida à estufa para secagem, permanecendo por um período de 24 horas a 100 - 110° C, ou até não apresentarem mais perda de peso.

Por ser tratar de um precipitado bastante fino é de fácil desagregação, não necessitando passar pelo moinho sendo apenas pulverizado — pulverizador de Tungstênio por um minuto ou até passar 100% na peneira Mesh 35 — e acondicionado em recipientes bem fechados e identificados.

3.4.1.2 Poeira de jateamento

Retirado do setor de limpeza mecânica, de um setor galvanotécnico, após o uso nas câmaras de jateamento. Foi submetida à estufa para secagem, permanecendo por um período de 24 horas a 100 - 110° C, ou até não apresentarem mais perda de peso. Por ser um pó extremamente fino, não necessitou passar pelo moinho sendo pulverizada por um minuto ou até passar 100% na peneira Mesh 35 e acondicionado em recipiente bem fechado e identificado.

3.4.1.3 Argila e areia de fundição

A argila foi recebida como é retirada da jazida, em forma de lâminas sobrepostas (folhelhos) e a areia de fundição como sai do processo de cura a frio na forma de blocos (torrões). Depois de recebidos foram secos em temperatura ambiente e então submetidos ao moinho de galga para trituração em grãos menores. Após a trituração, foram levados à estufa para secagem, ali permanecendo por um período de 24 horas a 100 °C - 110 °C, ou até não apresentarem mais perda de peso. Com os grãos bem secos, foi utilizado o pulverizador, para reduzi-los a granulometria de pó, por um minuto ou até passar 100% na peneira Mesh 35 e acondicionado em recipientes bem fechados e identificados.

3.4.2 Preparo dos Corpos-de-Prova

Já com os materiais pulverizados e secos procede-se a pesagem dos quatro materiais conforme as variadas composições sugeridas para dar início ao processo de inertização e possível origem de um novo produto.

Para cada tipo de composição, foram confeccionados 12 corpos prova –CP, variando de 12 a 25 gramas. Os materiais foram pesados em balança digital de três dígitos e colocados em graal de porcelana para incorporação de água na concentração de 10% do peso de cada CP.

Depois foi triturado com o pistilo até a formação de uma mistura uniformemente umedecida e homogênea. A mistura foi então colocada no molde de aço para a confecção do CP e submetida à prensa uniaxial por 30 segundos com 20 MPa.

Desmoldado, procede-se a identificação no CP e colocação na estufa por 24 horas a 100 °C –110 °C ou até não apresentar mais perda de peso. Ao sair da estufa o CP tem suas dimensões conferidas e anotadas no registro de dados, para avaliação da retração linear, densificação e identificação.

Os Cp's secos são acomodados nas bases de caolim e colocados no forno para sinterizar por períodos 1h-2h-4h-6h e temperaturas de 950 °C – 1000 °C – 1050°C – 1100 °C – 1120 °C – 1150 °C e 1200 °C.

Os ciclos de temperatura e tempos para cada teste de queima foram programados para trabalhar automaticamente no seguinte regime:

- a) entrada na temperatura de 450 °C durante 2 horas;
- b) continuação de aquecimento até temperatura máxima (de 950 °C até 1200°C, durante 2 horas;
- c) fixação na temperatura máxima durante 1, 2, 4 ou 6 horas;
- d) resfriamento até temperatura 250 °C durante 4 horas;
- e) desligamento de forno e resfriamento independente até temperatura ambiente.

Após as queimas, novamente os CP's têm suas dimensões conferidas e anotadas para avaliação das alterações de tamanho e densidade.

3.4.3 Concentrações, Tempos e Temperaturas Utilizados

Os corpos-de-prova foram preparadas inicialmente com escolha aleatória de proporções — primeira bateria de amostras (Quadro 6) — variando as concentrações do lodo galvânico a partir de 5% em peso (gramas) e da areia de fundição a partir de 75% em peso, totalizando 80% da massa, mantendo-se constantes as concentrações da argila e da poeira de jateamento em 10% em peso cada.

Quadro 6 – Primeira bateria de amostras

CP'S	Argila %	Poeira de Jateamento %	Areia de Fundição %	Lodo Galvânico %
M113	10	10	50	30
M112	10	10	55	25
M105	10	10	60	20
M104	10	10	65	15
M102	10	10	70	10
M108	10	10	75	5

No segundo grupo de amostras — segunda bateria de amostras (Quadro 7) — os corpos-de-prova foram confeccionados variando as concentrações do lodo galvânico a partir de 10% em peso (gramas) e da areia de fundição a partir de 65% em peso, totalizando em alguns CP's 70% e em outros 75% do total da massa, e variando as concentrações da argila e da poeira de jateamento com somatória entre elas de 30% e 25% em peso.

Quadro 7 – Segunda bateria de amostras

CP'S	Argila	Poeira Jateamento	Areia de Fundição	Lodo Galvânico
M107	15	10	65	10
M106	15	10	60	15
M10	15	15	45	25
M11	15	15	50	20
M9A	20	10	45	25
M14	20	10	45	25
M15	20	10	50	20
M103	20	10	60	10

No terceiro grupo de amostras — terceira bateria de amostras (Quadro 8) — os corpos-de-prova foram confeccionados variando as concentrações do lodo galvânico a partir de 15% em peso (gramas) e da areia de fundição a partir de 50%, totalizando 65% do total da massa, mantendo-se constantes as concentrações da argila em 10% em peso e poeira de jateamento em 25% em peso.

Quadro 8 – Terceira bateria de amostras

CP'S	Argila	Poeira de jateamento	Areia de fundição	Lodo galvânico
M7A	10	25		
M6A	10	25	25	40
M5A	10	25	30	35
M4A	10	25	35	30
M3A	10	25	40	25
M2A	10	25	45	20
M1A	10	25	50	15

No quarto grupo de amostras — quarta bateria de amostras (Quadro 9) — os corpos-de-provas foram confeccionados baseando-se na variação da concentração da argila a partir de 15% até 30% em peso e variadas combinações dos demais materiais, que somados totalizam 70% a 85% de incorporação de resíduos industriais em peça cerâmica.

Quadro 9 – Quarta bateria de amostras

CP'S	Argila	Poeira de jateamento	Areia de fundição	Lodo galvânico
M10	15	15	55	15
M11	15	15	60	20
M1	20	15	50	15
M2	20	20	45	15
M3	20	25	40	15
M4	25	15	40	20
M5	25	20	35	20
M6	25	25	30	20
M7	30	15	30	25
M8	30	20	25	25
M9	30	25	20	25

Estes grupos de amostras foram submetidos a queimas de temperaturas de 950° C, 1000° C, 1050° C, 1100° C, 1150° C e 1200° C por períodos variados de tempos de uma hora,, duas horas, quatro horas e seis horas.

3.4.4 Avaliação Preliminar para Triagem dos Corpos-de-Prova

A escolha dos corpos-de-prova foi feita durante todo o desenvolvimento do estudo. À medida que estes eram preparados e queimados, eram submetidos a uma avaliação preliminar. Devido à semelhança, ou seja, o aspecto físico dos corpos-de-prova apresentarem pouca diferença entre si, foi necessária a avaliação de mais de um parâmetro para a escolha dos CP's.

Para que fosse possível selecionar os melhores corpos-de-prova realizou-se a avaliação de alguns parâmetros, descritos a seguir:

- a) avaliação do aspecto físico visual: porosidade aparente, deformações e perdas de bordas. Selecionadas as com menos porosidade aparente, as com menores deformações e perdas de bordas.(Figura 15);

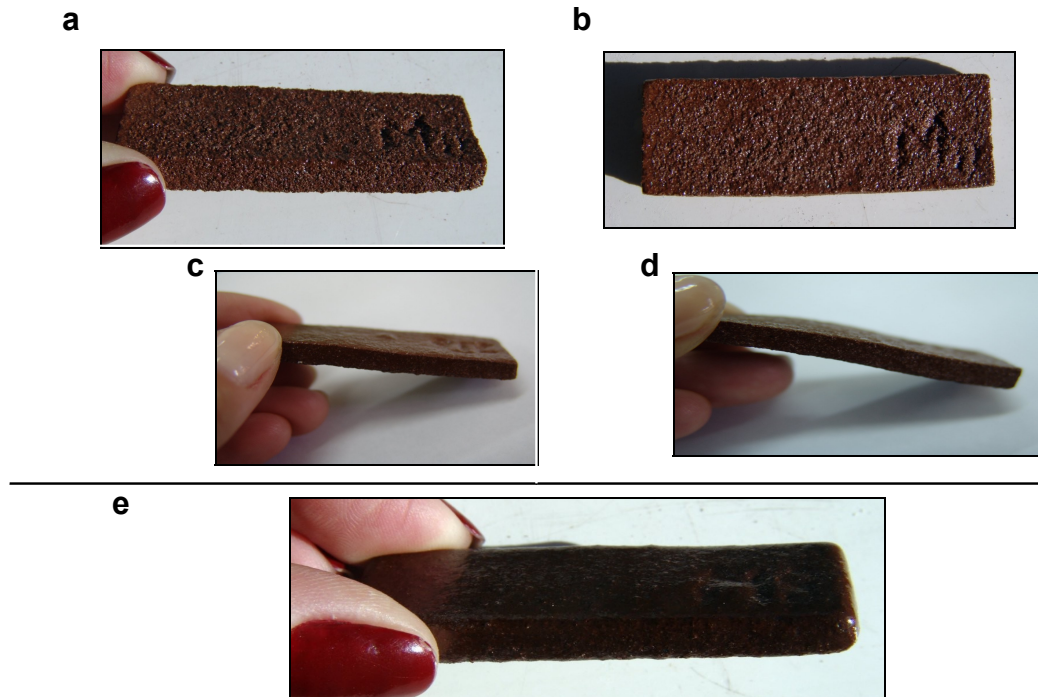


Figura 15 – Corpo de prova: avaliação do aspecto físico
 a,b – corpo de prova poroso c,d – corpo de prova com deformação
 e – corpo de prova com perda de borda

- b) avaliação da resistência mecânica manual: esfarelamento e quebra a pequenas flexões manuais;
 c) avaliação da retração linear: as peças que tiveram retração linear muito acentuada foram desprezadas.

3.4.5 Triagem dos Corpos-de-Prova

Os corpos-de-prova da primeira bateria de amostras, apesar dos resultados de retração linear terem sido bons, para os altos teores de areia de fundição, as demais características não foram satisfatórias e novas combinações de misturas foram executadas. O tempo de queima foi de uma hora para 1100 °C e 1200 °C.

Na segunda bateria de amostras, buscou-se baixar um pouco a concentração da areia de fundição para melhorar a porosidade, porém mantendo os valores baixos para retração linear. Optou-se por aumentar a argila variando os demais

componentes em diversas combinações. Os tempos de queima foram de uma e duas horas para 1100 °C e 1200 °C.

Na terceira bateria de amostras, procurou-se o aumento das concentrações de lodo galvânico e poeira de jateamento, resíduos de interesse neste trabalho, diminuindo a concentração da areia de fundição e mantendo constante a concentração da argila. Os tempos de queima foram de duas, quatro e seis horas para 950 °C, 1000 °C, 1050 °C, 1100 °C, 1120 °C, 1150 °C e 1200 °C.

Devido às variações de concentrações serem pequenas, para cada material, as características dos corpos-de-prova queimados eram muito próximas, dificultando desta forma a eliminação das peças. Sendo assim, foi usado como metodologia para triagem, a somatória destes vários parâmetros práticos e imediatos confrontados com a quantidade de resíduos incorporados.

Na quarta bateria de amostras, foram combinadas as concentrações dos melhores resultados da avaliação preliminar. Os tempos de queima foram de quatro e seis horas para 1100 °C, 1120 °C, 1150 °C.

A escolha dos últimos CP's foi feita através dos resultados da avaliação preliminar associada aos resultados dos ensaios laboratoriais, descritos no item em que se apresentará a metodologia aplicada nos ensaios laboratoriais (3.5), que fornece as características mecânicas das peças. Os parâmetros mecânicos postos em avaliação foram o Módulo de Resistência à Flexão - MRF e Retração Linear - RL.

Apesar dos resultados dos MRF dos CP's serem muito próximos entre si, os três últimos CP's escolhidos apresentaram valores um pouco melhores.

A partir daí, outros parâmetros foram avaliados mais detalhadamente, tais como: absorção de água, resistência a ácidos e álcalis fortes, ensaios de lixiviação e solubilização.

Os corpos finais selecionados foram M6 – 1100 °C /6horas, M8 – 1150 °C /6 horas e M9 – 1100 °C /6 horas. No Quadro 10 estão descritas as concentrações escolhidas.

Quadro 10 – Corpos-de-Prova selecionados

CP	Argila	Poeira de jateamento	Areia de fundição	Lodo galvânico
M6	25	25	30	20
M8	30	20	25	25
M9	30	25	20	25

O corpo de prova M8 apresentou boa formação para a temperatura 1120 ° C e a 1100° C. Os corpos-de-prova M6 e M9, queimados a 1120° C, foram rejeitados devido à perda de borda, sendo selecionados somente os queimados a 1100 °C.

Na Figura 16 evidencia a diminuição dos tamanhos dos CP's em relação à temperatura de queima.

O aspecto poroso é outro parâmetro que foi avaliado em relação à temperatura, à medida que a temperatura aumenta a porosidade diminui.



Figura 16 – Corpos-de-prova finais - retração

3.5 METODOLOGIA APLICADA NOS ENSAIOS LABORATORIAIS: CARACTERIZAÇÃO

Esta etapa foi desenvolvida no Laboratório de Análises de Minerais e Rochas – LAMIR; no Laboratório de Microscopia Eletrônica da Universidade Federal do Paraná, no Laboratório de Treinamento e Ensaios da indústria EMIC e no Laboratório CETSAM do SENAI-PR. Ensaios Laboratoriais são os procedimentos utilizados para caracterizar, avaliando as composições químicas e mineralógicas dos CP's confeccionados, assim como suas características mecânicas e químicas.

3.5.1 Microscopia Eletrônica de Varredura

Para o ensaio de Microscopia Eletrônica de Varredura - MEV, os materiais foram secos em estufa 100-110° C, durante 24 horas e preparados com metalização a vácuo, para recobrimento com fina camada de ouro, antes de serem submetidos ao ensaio, com equipamento JSM-6360. Através da MEV, são avaliadas as morfologias das partículas que compõe cada amostra.

3.5.2 Perda a Fogo

Na Perda a Fogo -PF, os materiais puros e os corpos-de-prova finais, antes e depois de queimar, são pulverizados e colocados na estufa a 100 – 110° C por 24 horas ou até não apresentar mais perda de peso. Quando atingida a completa secagem dos pós, estes foram pesados em cadinhos de porcelana e submetidos à perda a fogo na mufla.

3.5.3 Fluorescência de Raio X

Com a Fluorescência de Raio X - FRX, os materiais puros são pulverizados e colocados na estufa a 100 – 110° C por 24 horas, ou até não apresentarem mais perda de peso. Após secos são preparados em formato de pastilha e são

submetidos a feixes de Raio X no Equipamento Philips, modelo PW 2400. Através da FRX, são avaliadas as composições químicas das amostras.

3.5.4 Difractometria de Raio X

Com a Difractometria de Raio X - DRX, os materiais puros e os corpos-de-prova finais, antes e depois de queimar, são pulverizados e colocados na estufa a 100 – 110° C por 24 horas, ou até não apresentarem mais perda de peso. Após secos são preparados em dispositivo metálico para ser submetido a feixes de Raio X, que ao incidirem sobre os cristais presentes na amostra reagem com os átomos, originam o fenômeno de difração. Através da DRX, pode-se determinar as fases cristalinas, permitindo a caracterização mineralógica dos materiais (ALBERS, 2001).

3.5.5 Retração Linear Pós Queima

A Retração linear pós queima – RL, não é um parâmetro que tem sua classificação cerâmica normalizado pela NBR's, mas é um importante parâmetro industrial. Quando a cerâmica apresenta-se porosa é caracterizada por baixa retração, na ordem de 3%, o semi-poroso é caracterizado por uma retração de 4-6% e o gresificado por uma retração linear de 8% (BORLINI, 2002).

Para o cálculo da RL foi utilizada a fórmula de GALDINO, SILVA e NOGUEIRA (2004):

$RLQ = \frac{L_1 - L_2}{L_1} \times 100$	<p>Onde:</p> <p>L₁ é o comprimento do corpo de prova seco, em mm.</p> <p>L₂ é o comprimento do corpo de prova queimado, em mm.</p>
--	--

3.5.6 Absorção de Água

O ensaio de Absorção de Água – Abs, foi realizado no Laboratório de Tecnologia Ambiental (conforme NBR 13.818/1997 - Anexo B - Normativo), nos corpos-de-prova M6, M8 e M9.

Absorção de água (Abs) é um dos parâmetros que classifica as placas cerâmicas para revestimento conforme a NBR 13817/1997 – Placas Cerâmicas para Revestimento - Classificação. Outro parâmetro de classificação desta norma é o método de fabricação como: prensado, extrudado e outros.

3.5.7 Módulo de Resistência à Flexão

O ensaio de Módulo de Resistência à Flexão (MRF), foi realizado no laboratório de treinamentos da empresa EMIC, no equipamento universal de ensaios, modelo DL 2000, conforme NBR 13.818 de 04/1997- Anexo C - Normativo.

3.5.8 Resistência ao Ataque Químico

O ensaio de determinação de Resistência ao Ataque Químico – RAQ a ácidos e álcalis fortes foi realizado no Laboratório de Tecnologia Ambiental, conforme NBR-13.818/1997 - Anexo H -Normativo, nos corpos-de-prova M6, M8 e M9.

3.5.9 Lixiviação

O ensaio de Lixiviação foi realizado no laboratório CETSAM, do SENAI-PR, baseado na Norma Técnica Brasileira – NBR 10005:2004 - Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos. Da parte líquida foram feitos procedimentos conforme os Métodos standard para exames de água (*Standard Methods For Examination Of Water And Wastewater*). A determinação de Índices de Fenóis foi feita através do Equipamento HACH, modelo DR 2400.

Para as leituras em Espectrofotômetro de Absorção Atômica foram definidas as seguintes características do aparelho (Quadro 11).

Quadro 11 – Dados técnicos para leitura no equipamento de absorção atômica

Elemento	Comprimento de Onda (Nm)	Largura da Fenda (Nm)	Tipo de Chama	Faixa de Calibração (Ppb)	Corrente da Lâmpada (Ma)	Marca da Lâmpada
Cd	228.8	0.5	C ₂ H ₂	0.5-2.0	6	Varian
Cr	357.9	0.2	C ₂ H ₂	0.5-2.0	7	Varian
Fe	248.3	0.2	C ₂ H ₂	1.0-15.0	5	Varian
Pb	217.0	1.0	C ₂ H ₂	0.5-2.0	5	Varian
Zn	213.9	1.0	C ₂ H ₂	0.5-2.0	5	Varian

3.5.10 Solubilização

O ensaio de solubilização foi realizado no laboratório CETSAM do SENAI-PR, conforme NBR 10005:2004. Da parte líquida foram feitos procedimentos conforme preconiza a metodologia Métodos standard para exames de água (*Standard Methods For Examination Of Water And Wastewater*). A determinação de Índices de Fenóis foram feitas através do Equipamento HACH modelo DR 2400. O laudo com o resultado, emitido pelo CETSAM, encontra-se no Anexo 5.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são apresentados os resultados das duas fases deste trabalho. Primeiramente, os ganhos das ações de minimização do Lodo Galvânico e Areia de Jateamento e posteriormente os resultados dos Testes e Ensaios Laboratoriais.

Na análise global dos resultados pode-se observar que as ações de minimização implantadas alteraram a característica dos descartes da empresa sendo que as 4 caçambas usadas para envio dos resíduos misturados para o aterro sanitário não ocorre mais, ficando cada resíduo destinado conforme suas características próprias para os destinos finais específicos e os tóxicos são acumulados no pátio da empresa dentro de caçamba identificada e fechada e enviada para aterro industrial a cada 3 meses. Atualmente encontra-se em estudo a caracterização destes resíduos tóxicos para poderem ser co-processados. Os resultados das ações de minimização de todos os resíduos sólidos encontrados na empresa estão contidos no Anexo 3.

4.1 MINIMIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE INTERESSE PARA REUSO

A busca por soluções aos problemas dos resíduos sólidos industriais não se resume apenas a encontrar meios de dispô-los de forma segura ou de reaproveitá-los no final da linha. É preciso pensar antes em minimizar na fonte o que se tem gerado para, com o que realmente não se pode reduzir ou eliminar, desenvolver meios viáveis de mantê-los em uma forma estável na sua disposição final ou, melhor ainda, reusá-los.

4.1.1 Minimização do Lodo Galvânico

No Quadro 12 são apresentadas as ações de minimizações implantadas na linha de produção e na unidade de tratamento de efluentes e os ganhos obtidos na indústria com a implantação destas ações. Os valores obtidos foram calculados através das diferenças dos valores gastos em produtos químicos usados antes e

depois das ações e pela diferença dos custos dos tambores enviados pra coprocessamento.

Quadro 12 - Resultados da minimização para o lodo galvânico

Resíduo	Ações de Minimização	Resultado	Quant.	Ganhos
Lodo galvânico	Treinamento do operador quanto às técnicas de retirada das gancheiras dos tanques.	O operador adotou o procedimento de esperar alguns segundos antes de arrastar a gancheira de um banho para outro, com isto melhorou a qualidade das águas descartadas e aumentou a vida útil dos banhos químicos aumentando a periodicidade de descarte.	720 kg por mês de lodo seco.	A somatória das ações de minimização reduziu 50% o volume de produtos químicos na UTE e resultou em uma economia de R\$ 16.000,00/ano.
	Mudanças nos sistemas de águas de lavagens.	A mudança dos sistemas de águas de lavagem para cascata reduziu o volume de descartes e consequentemente o consumo de água.		Quanto aos ganhos do envio das soluções concentradas, ainda não se pode avaliar, pois o processo de segregação está em fase de estocagem e não se tem o custo da tonelada.
	Segregação dos descartes	Os descartes segregados facilitou o tratamento físico químico e reduziu o consumo de produtos químicos no processo de tratamento.		A redução no peso do lodo úmido para co-processamento resultou em uma economia de R\$ 7.800,00/ano
	Destinação para reciclagem dos efluentes concentrados de Cr^{6+}	A segregação dos descartes concentrados de cromo e envio para reciclagem reduziu o volume de produtos químicos na UTE.		
	Secagem da torta antes de acondicionar.	A secagem das tortas reduziu o peso do lodo para co-processamento.		
	Estudos para reuso.	Os resultados do reuso serão vistos no item Ensaio Laboratoriais		

No Quadro 13 são apresentadas as ações de minimizações implantadas para a MV no setor de jateamento de peças e os ganhos obtidos na indústria com a implantação destas ações. O valor obtido foi calculado pela diferença do custo na compra de microesferas de vidro antes e depois da implantação das ações de minimização.

Quadro 13 – Resultados da minimização da poeira de jateamento

Resíduo	Ações de Minimização	Resultado	Quant.	Ganhos
Areia de jateamento	Treinamento do operador para um controle consciente do uso.	O operador passou a controlar o consumo de e a cuidar os derramamentos.	600 kg por mês	Redução de cerca de 28% no consumo, devido ao uso consciente.
	Verificação da abrasividade das microesferas de vidro com reciclo na máquina.	Aumento da vida útil do material com propriedade abrasiva.		Isto resultou em economia de cerca de R\$ 9.000,00/ano
	Estudos para reuso	Os resultados do reuso serão vistos no item Ensaio Laboratoriais.		

4.2. TESTES E ENSAIOS LABORATORIAIS

Os testes laboratoriais foram desenvolvidos no Laboratório de Tecnologia Ambiental (LTA), do Departamento de Engenharia Química da Universidade Federal do Paraná – UFPR.

4.2.1. Lodo Galvânico

Os resultados a seguir apresentados fornecem os dados para a pesquisa na busca do conhecimento das características químicas mineralógicas e morfológicas do lodo galvânico a fim de viabilizar seu uso como matéria prima na produção de peças cerâmicas, prevendo que ocorrerá, através da queima, a interação com outros elementos, promovendo desta forma a inertização dos metais pesados presentes, eliminando potencial tóxico.

4.2.1.1. Fluorescência de Raio X

Com a Fluorescência de Raio X -FRX, a composição química do Lodo Galvânico apresentada na Tabela 3 confirma a sua origem como resultante do tratamento físico químico de efluentes galvânicos das linhas de Zinco e seus cromatizantes.

Tabela 3 – Composição química do lodo galvânico

Amostra	%	E.A.	Amostra	%	E.A.
Cr	16,56	0,03	Cu	0,31	0,004
Zn	11,83	0,02	Se	0,18	0,002
SiO ₂	7,29	0,04	Co	0,15	0,004
SO ₃	5,17	0,02	Ni	0,14	0,003
P ₂ O ₅	4,78	0,02	W	0,12	0,004
CaO	3,51	0,02	Sn	0,12	0,002
Fe ₂ O ₃	2,51	0,02	Pb	0,12	0,003
MgO	1,63	0,02	Ba	<<	
Na ₂ O	1,57	0,02	Sr	<<	
Al ₂ O ₃	1,33	0,01	Ti	<<	
K ₂ O	0,87	0,007	P.F	41,82	

Pode-se observar altos teores de metais pesados como Cr (16,56%) e Zn (11,83%), além de outros metais em menor teores, porém superiores ao permitido pelas normas ambientais. Ex.: Ni (0,14%) e W, Sn, Pb (0,12% cada). Neste material há também a presença de elementos não metálicos, relativamente inertes, como SiO₂, CaO, Fe₂O₃, MgO, Al₂O₃, etc. A percentagem de PF deste material alcançou o valor de 41,82%.

4.2.1.2. Difratometria de Raio X

Na Difratometria de Raio X (DRX) obtém-se o Difratograma do Lodo Galvânico (Figura 17).

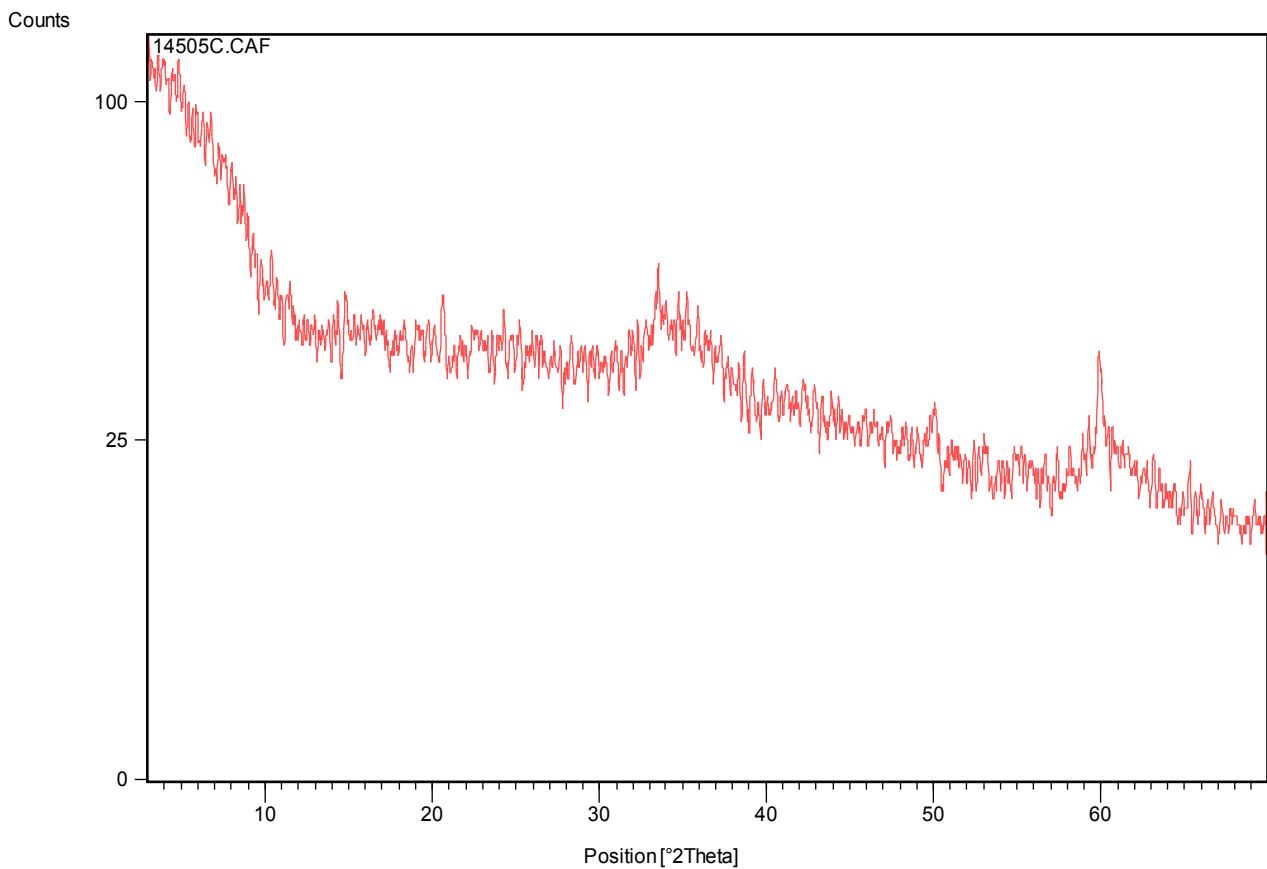


Figura 17 – Difratomograma do lodo galvânico

Permite analisar a ausência de picos típicos de estruturas cristalinas e a ocorrência de curvas características de material amorfo, registradas nas duas curvas suaves formadas, na posição 2θ , aproximadamente 35° e 60° .

Este resultado sem dúvida comprova a característica do lodo galvânico como um material amorfo. A altura da base da curva em relação ao ponto zero, também representa a presença de material amorfo.

4.2.1.3. Aspecto Físico: avaliação visual

Na Figura 18 mostra-se o aspecto físico do lodo galvânico mediante avaliação visual. O aspecto do lodo dá a impressão de um material extremamente fino, com alta densidade e amorfo. Tem o aspecto de uma pasta lisa e macia. Estudos de MEV e DRX também confirmam a estrutura amorfa do material

Após a prensagem do lodo encharcado, podemos observar que ocorre uma destruição da formação homogênea, surgindo pedaços de diferentes tamanhos.

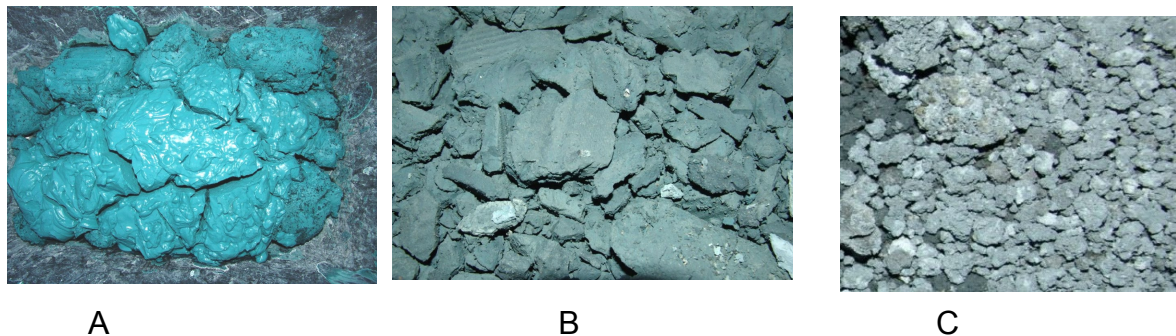


Figura 18 – Lodo galvânico – aspecto físico

A -Lodo galvânico pastoso – encharcado, B - Lodo galvânico prensado e úmido
C - Lodo galvânico prensado seco

À medida que o lodo prensado perde água e fica mais seco, diminuem os tamanhos dos torrões devido a desagregação, uniformizando a granulometria.

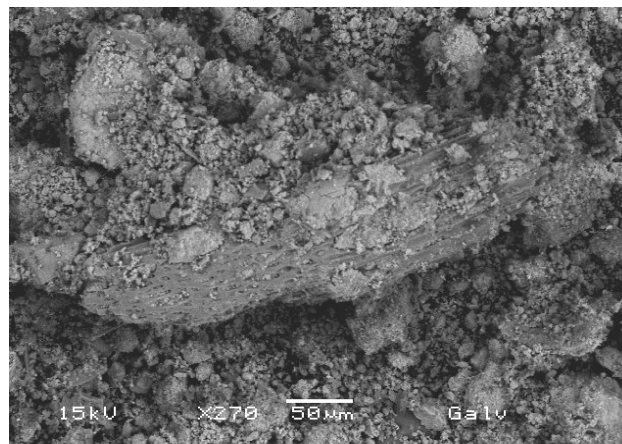
Imagens da MEV também mostram a característica de uma granulometria bem fina.

4.2.1.4. Microscopia Eletrônica de Varredura

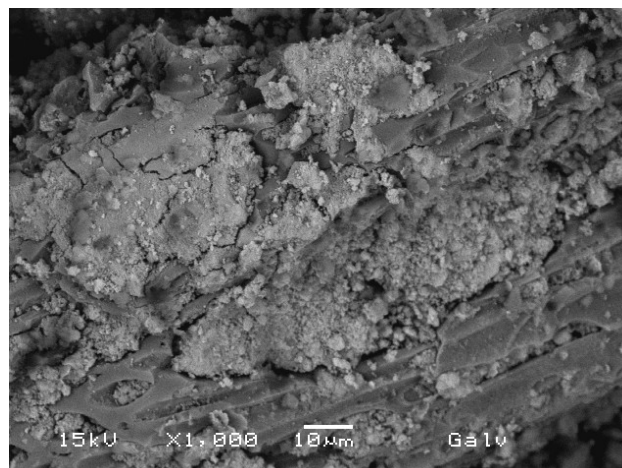
Na imagem da Figura 19, a,b, na Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), mostra que morfologicamente as partículas de lodo galvânico secas são bastante distintas e não agregadas. Isto provavelmente ocorre devido a grande diversidade de elementos presentes no material usado, os quais têm diferenças significativas quanto as suas composições químicas e mineralógicas, conforme confirmado na Difractometria de Raio X. Uma análise mais detalhada quanto as estruturas morfológicas das partículas pode ser feita na mesma Figura 17,c,d,e, com magnificações de 1000 e 3000 vezes.

Pode-se observar formações esféricas, ovais, lamelares, estratificadas, etc. As presenças destas formas geométricas no lodo galvânico são explicadas devido este ser composto por um mistura de vários produtos, os quais são usados no tratamento físico químico das águas residuárias, como carbonatos, metassilicatos, polímeros, além dos óxidos metálicos e sais solúveis formados.

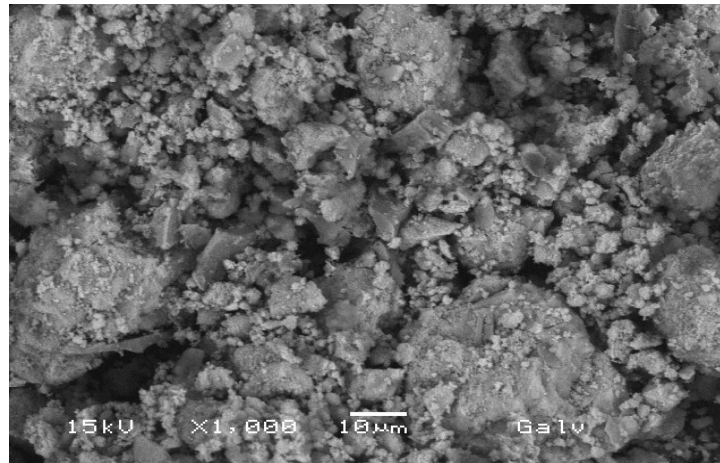
a
15 kV
x 270
50 μ m



b
15 kV
x 1000
10 μ m



c
15 kV
x 1000
10 µm



d
15kV
x 3000
5 µm

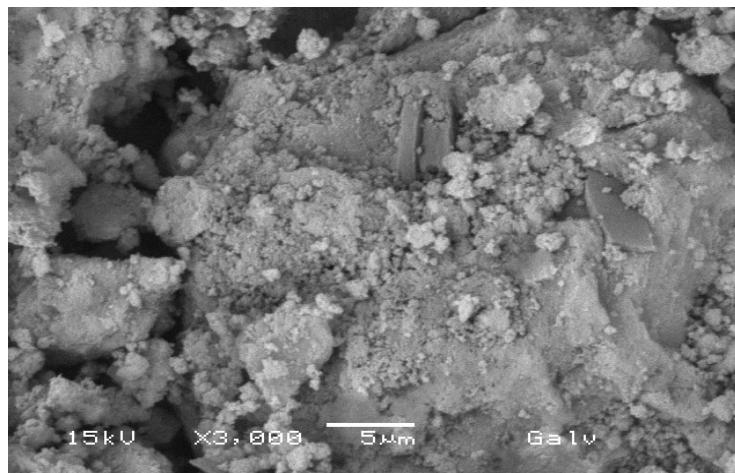


Figura 19 – Lodo galvânico na MEV

4.2.2 Poeira de Jateamento

Os resultados a seguir apresentados fornecem os dados para a pesquisa na busca do conhecimento das características químicas, mineralógicas e morfológicas da poeira de jateamento para uso como matéria prima na produção de cerâmica, aproveitando seu potencial fundente ou viabilizando através desta proposta a minimização de descarte ao meio ambiente.

4.2.2.1. Fluorescência de Raio X

A Tabela 4 mostra a predominância de SiO_2 (75,5%) na composição química total da poeira de jateamento. Verificamos também uma quantidade expressiva de

Na₂O (10,13%) e CaO (8,46%) e em menor teor a MgO (3,04%), além de outros elementos em proporções menores que 1%.

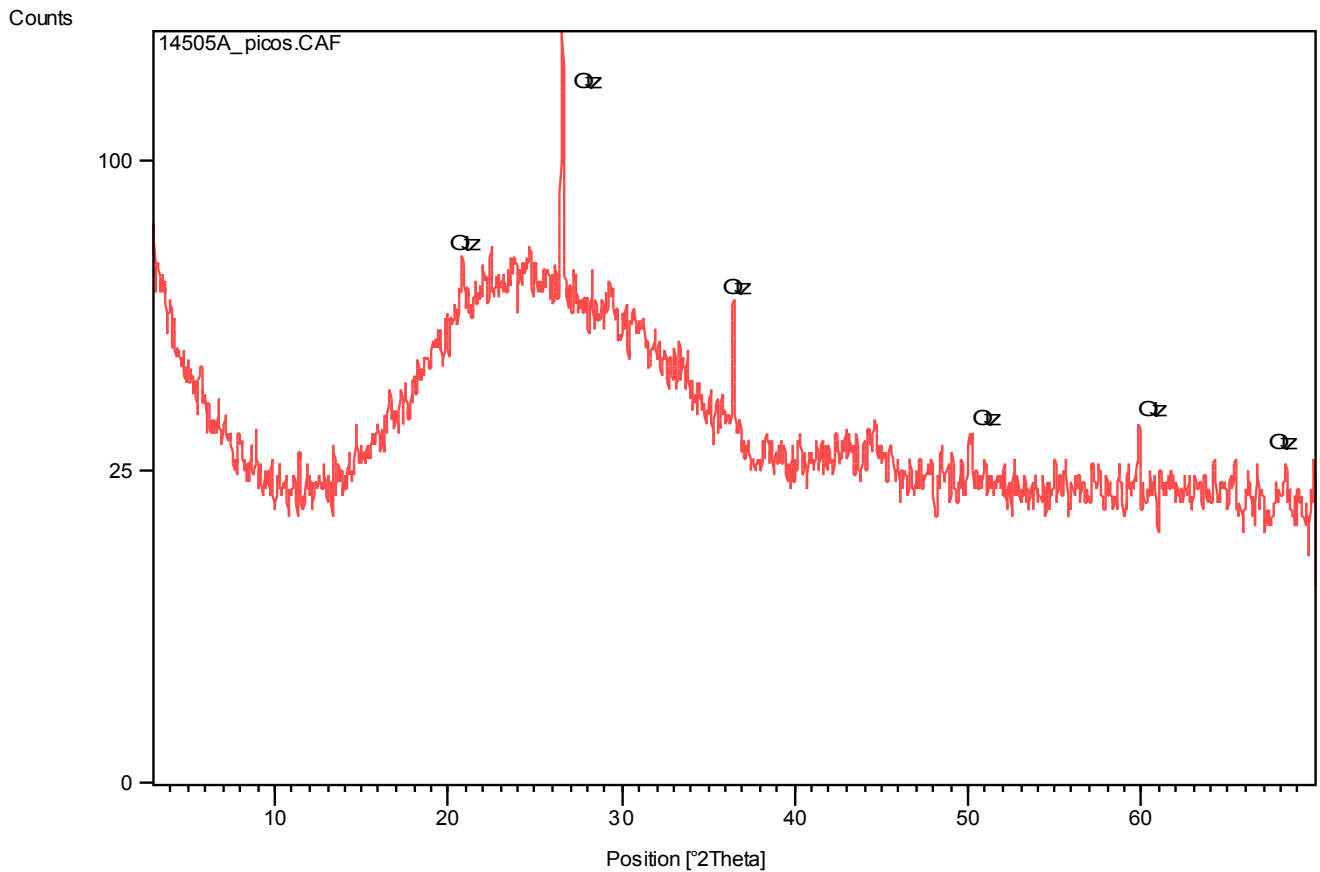
Tabela 4 – Composição química da poeira de jateamento por FRX

Amostra	%	E.A.
SiO ₂	75,50	0,1
Na ₂ O	10,13	0,05
Cão	8,46	0,03
MgO	3,04	0,02
l ₂ O ₃	0,92	0,01
Fe ₂ O ₃	0,69	0,009
K ₂ O	0,34	0,007
SO ₃	0,26	0,006
Zn	0,07	0,001
TiO ₂	0,07	0,003
Cr	0,02	0,001
Pb	0,02	0,001
P ₂ O ₅	0,02	0,001
Sr	0,02	0,001
Rb	0,003	0,001
P.F	0,45	

Neste material pode-se verificar também a presença de metais pesados, como Zn, Ti, Cr, Pb, Sr, Rb, etc, em teores maiores que os permitidos pela NBR – 10006/10007. O resultado do ensaio de FRX confirma a alteração da classificação do material inerte para outro com potencial tóxico devido ao arraste de metais, retirados por abrasão das peças de aço trabalhadas no jateamento. A percentagem da PF deste material foi de 0,45%.

4.2.2.2. Difractometria de Raio X

O ensaio realizado em equipamento de difratometria de raio X fornece dados referentes às composições mineralógicas dos materiais submetidos à análise, mostrados na Figura 20.



Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
26,5576	83,12	0,1574	3,35643	100,00
36,4982	25,57	0,2362	2,46189	30,77
50,2141	16,89	0,1129	1,81692	20,32
59,8595	19,14	0,1903	1,54516	23,03

Mineral	Fórmula
Quartzo (Qtz)	SiO ₂

Figura 20 – Difratoograma da poeira de jateamento

A imagem da Figura 20 demonstra ausência de picos cristalinos e a formação de curvas, característica de substâncias amorfas, que é confirmada também pela altura da linha base de fundo em relação ao ponto zero. Os pequenos picos formados, sobre a curva amorfa, indicam a presença de estruturas cristalinas de quartzo, SiO₂ (Tabela) com teor menor do que 5%. A curva maior formada na posição $2\theta = 10-38^\circ$ é específica de vidro.

4.2.2.3. Microscopia Eletrônica de Varredura

Na Figura 21, a,b, pode-se observar a morfologia de partículas esféricas com diferentes diâmetros, característico da forma física da MV.

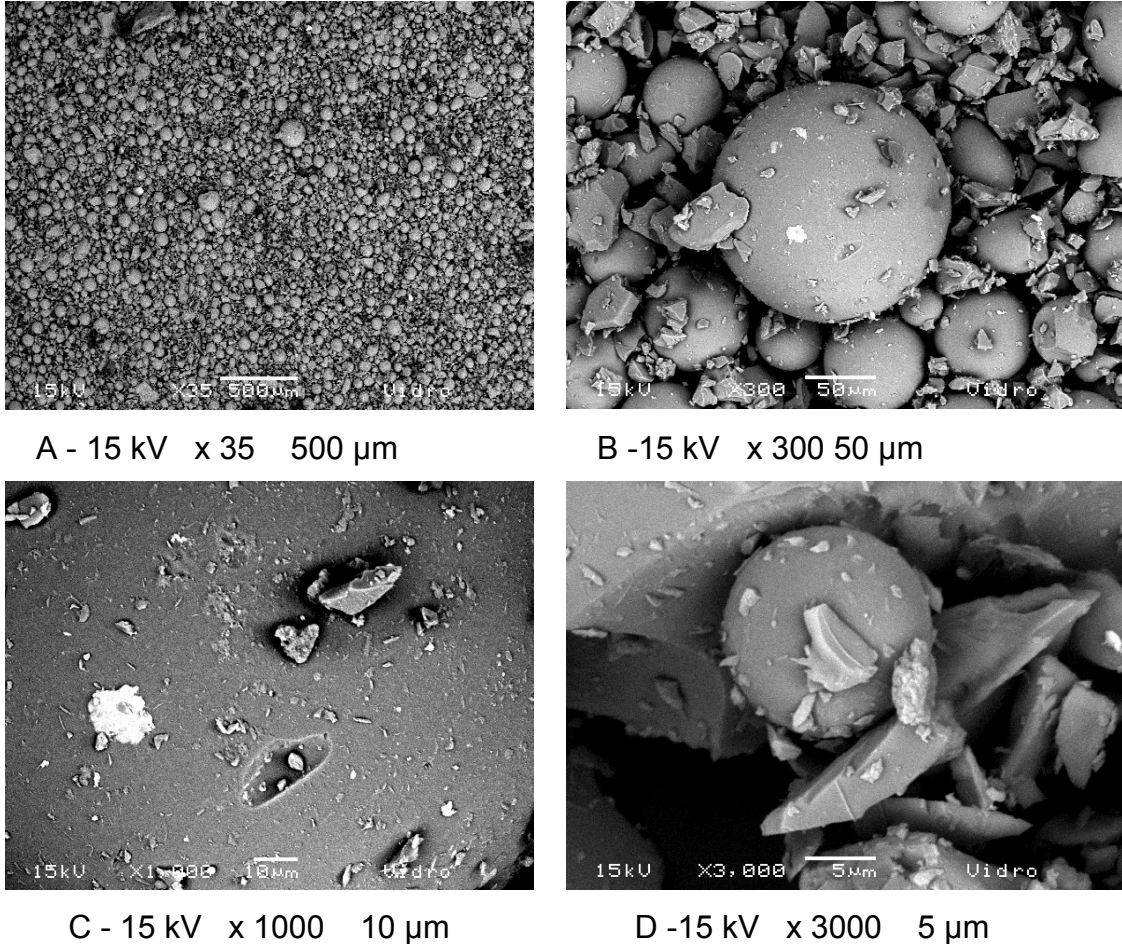
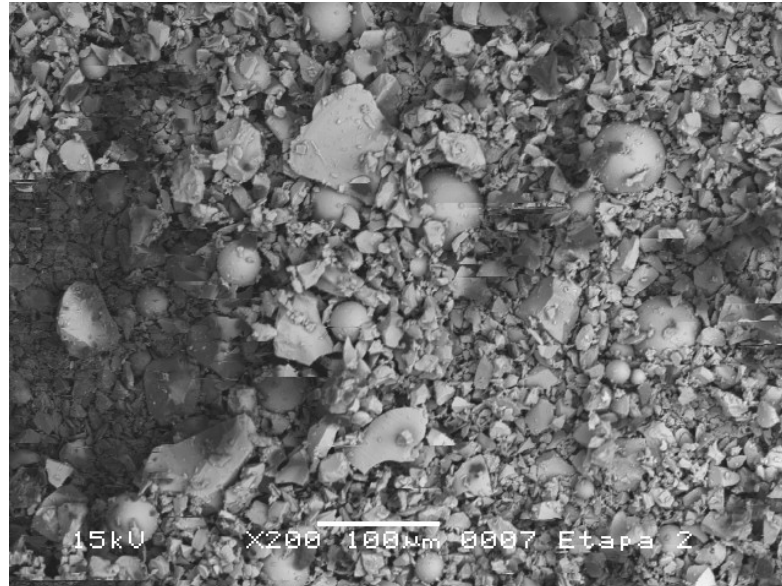


Figura 21 - Micrografias da poeira de jateamento — 1º ciclo

Pode-se observar também a presença de muitos pedaços (Figura 21, d) de esferas partidas, quebradas durante o processo de limpeza mecânica (jateamento). Percebe-se, ainda, a ocorrência de buracos (Figura 21,c) na superfície da esfera, provavelmente causada pelo atrito entre elas e as superfícies metálicas.

Na Figura 22 pode-se observar que há um aumento considerável de esferas partidas (cacos de vidro), provenientes dos excessivos choques provocados pela limpeza mecânica nas câmaras de pressão.

Esta nova característica física do material irá favorecer o contato superficial entre ele (material fundente) e os metais pesados que estarão presentes nos demais resíduos agregados na massa cerâmica.



15 kV x 200 100µm

Figura 22 - Micrografias de poeira de jateamento – 2º ciclo

Este procedimento de reciclo tem como objetivo o aumento da vida útil das MV, aumentando a periodicidade de descartes.

Esta ação foi tomada como medida para minimização do descarte de poeira de jateamento.

4.2.3. Areia de Fundição

Os resultados a seguir apresentados fornecem dos dados para a busca do conhecimento das características químicas mineralógicas e morfológicas da areia de fundição, com o intuito de incorporá-la na massa cerâmica teste, a fim de aproveitar sua característica de estabilizador da retração linear das peças queimadas. Por outro lado a queima proporcionará a inertização dos metais pesados presentes no material, além de minimizar os volumes de descartes.

4.2.3.1. Fluorescência de Raio X

Na Tabela 5, obtida por FRX, pode-se observar que o material é composto praticamente de SiO_2 alcançando o teor de 98,75%. Os teores do óxido de ferro (0,408%) e do óxido de alumínio (0,306), somados dão um resultado inferior a 0,8%.

O Zr apresenta-se na percentagem de 0,009%. Os demais metais como Cr, Ti e o Ca e K estão em percentagens aquém da sensibilidade do método. A percentagem da Perda a Fogo (PF) foi muito baixa, inferior a 0,60% (0,53).

Tabela 5 – Composição química da areia de fundição por FRX

Amostra	%	E.A.
SiO_2	98,75	0,1
Fe_2O_3	0,408	0,006
Al_2O_3	0,306	0,006
Zr	0,009	0,001
Cr	<<	
Ti	<<	
Ca	<<	
K	<<	
PF	0,53	

4.2.3.2 Análise de Absorção Atômica

Na Tabela 6 mostra-se a composição química da areia de fundição por Análise de Absorção Atômica (AAA) e pode-se observar que o material analisado apresenta um alto teor de SiO_2 na ordem de 78%, além de metais como Zn (10,70 mg/kg) e outros em concentração menores que 10 mg/kg.

Este ensaio dá o resultado das análises químicas realizadas e expressas em base seca

Tabela 6 - Composição química da areia de fundição por absorção atômica

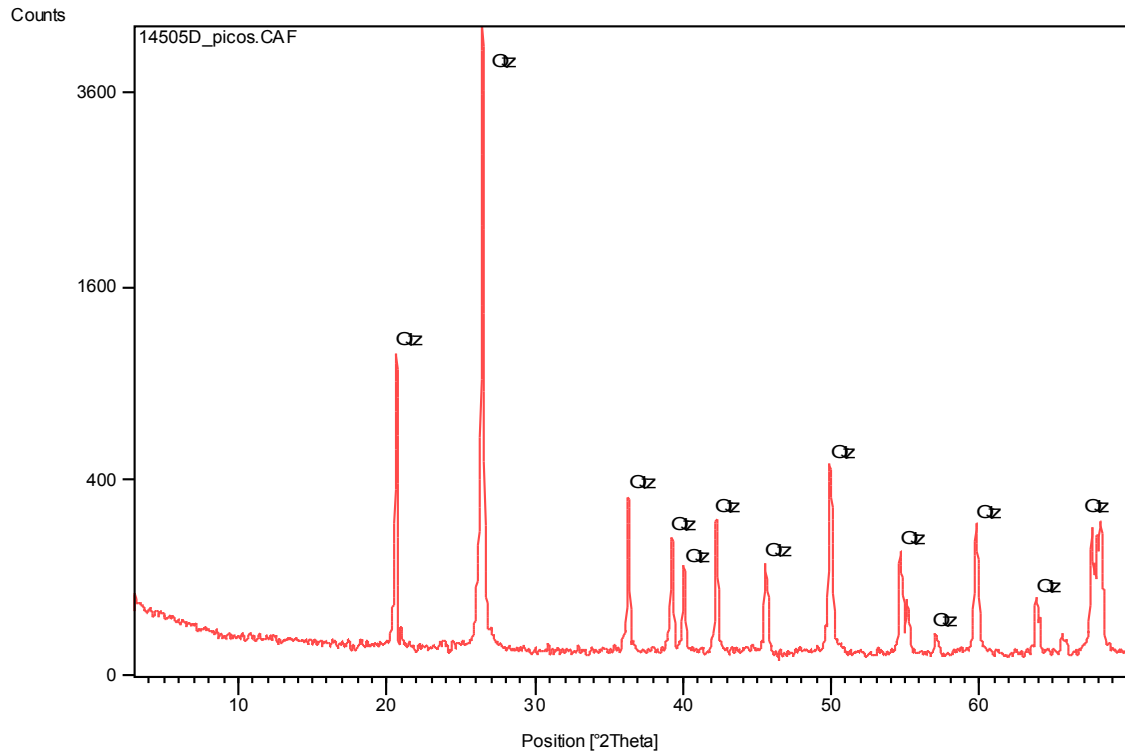
Alumínio Total (mg/kg)	Al	170,00
Cálcio Total (mg/kg)	Ca	2,00
Chumbo Total (mg/kg)	Pb	2,05
Cianeto (mg/kg)	CN	< 5,0
Ferro Total (mg/kg)	Fe	428,00
Óxido de alumínio (%)	Al ₂ O ₃	< 0,1
Óxido de Cálcio (%)	Ca O	< 0,1
Óxido de Ferro (%)	Fe ₂ O ₃	< 0,1
Óxido de Manganês (%)	Mn O	< 0,1
Óxido de Silício (%)	SiO ₂	78
Potássio Total (mg/kg)	K	8,50
Zinco Total (mg/kg)	Zn	10,70

No resultado da caracterização de composição química pelo método de absorção atômica (Tabela 6) da areia de fundição usada, observamos uma divergência entre os resultados do teor de SiO₂ se compararmos com a análise de FRX da Tabela 5.

Para FRX o teor é de 98,75% e AAA o teor é de 78%. Isto é explicado pela diferença dos níveis de sensibilidades dos métodos em questão. Quando o material é composto por um alto teor de SiO₂ a sensibilidade do ensaio de FRX é melhor, porém quando se trata de teores menores o método mais indicado é o AAA.

4.2.3.3. Difractometria de Raio X

Na Figura 23 mostra-se o gráfico da areia de fundição, com a presença de picos clássicos, característicos de uma estrutura cristalina (quartzo). Observa-se também, através da análise mais detalhada do difratograma, que há uma quantidade significativa de material amorfo neste resíduo, registrada pela altura da linha base de fundo em relação à linha zero do gráfico.



Mineral	Fórmula
Quartzo (Qtz)	Si O ₂

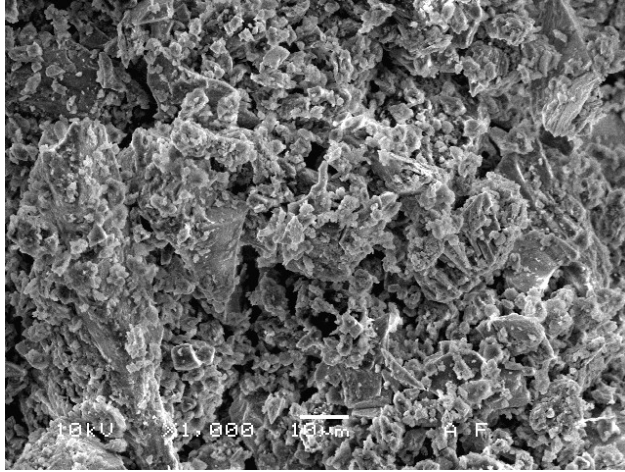
Figura 23 – Difratoograma da areia de fundição

A justificativa para a presença do alto teor de material amorfo é que, devido aos inúmeros choques térmicos sofridos durante o processo de fundição das peças, no qual ocorre um aumento brusco de 20 - 30 °C (temperatura ambiente) para a temperatura de 1500 °C do metal líquido quando vertido sobre o molde. A areia utilizada neste trabalho é proveniente do rejeito da areia de fundição de cura frio de uma indústria, após vários peneiramentos, o que confere um tamanho inadequado para o retorno ao processo.

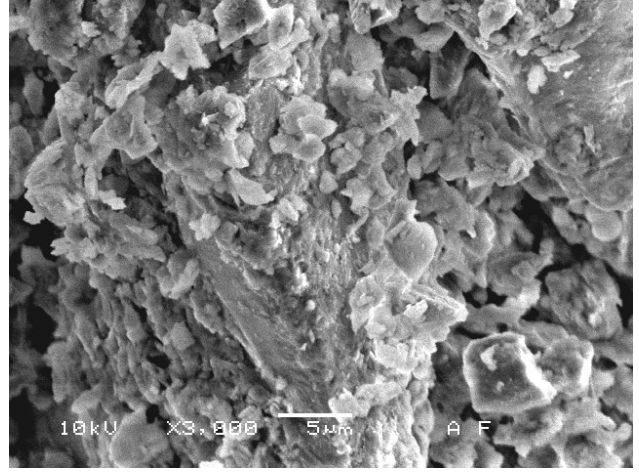
4.2.3.4. Microscopia Eletrônica de Varredura

Na Figura 24 - a, com magnificação 1000, pode-se observar uma estrutura muito porosa, apesar de não se apresentar desagregada.

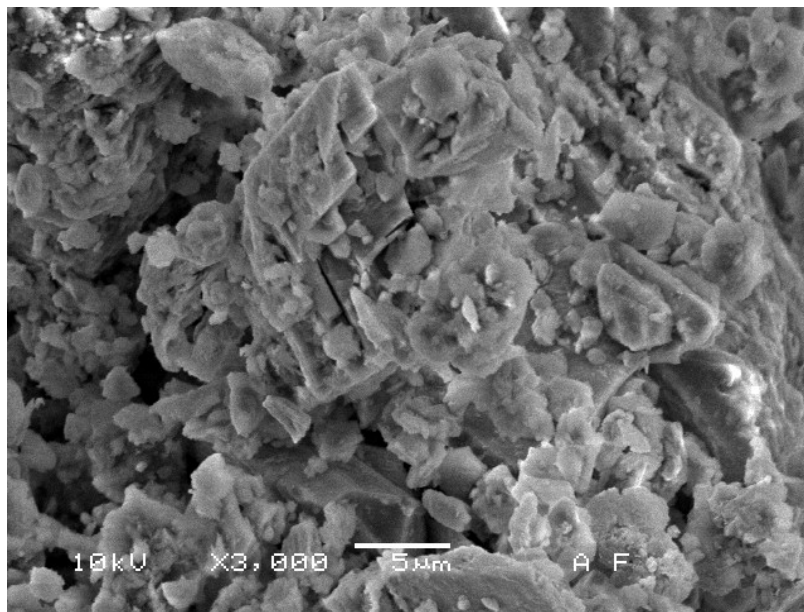
Isto é confirmado à medida que se aumenta a magnificação, sendo visível na mesma Figura 24 - b,c.



a 10 kV x 1000 10 µm



b 10 kV x 3000 5 µm



c 10 kV x 3000 5 µm

Figura 24 – Micrografia da Areia de Fundição

Na Figura 24 - c, observa-se uma estrutura conformada mais arredondada, provavelmente resultado de fusão parcial ocorrida durante o processo de fundição de peças metálicas na linha de produção.

Esta característica, se comparada com a argila natural (ver Figura 26) comprova que o material, em questão, trata-se de um resíduo, pois possui, em seu aspecto físico, vestígios de um processamento em alta temperatura.

4.2.4. Argila

Os resultados a seguir apresentados fornecem os dados para a pesquisa na busca do conhecimento das características químicas mineralógicas e morfológicas da argila para uso nos testes de reuso de resíduos industriais na produção de peças cerâmicas, se beneficiando das suas características ligantes para facilitar o manuseio durante o processo de pré-queima dos corpos-de-prova.

4.2.4.1. Fluorescência de Raio X

A Tabela 7 apresenta altos teores de SiO_2 (54,48%), Al_2O_3 (21,40%) e em menor quantidade o Fe_2O_3 (8,33%).

Os demais componentes, na somatória, não ultrapassam a concentração de 10%. Nestes resultados, pode-se observar também a presença, na argila natural, de metais pesados como Zr e Rb, provavelmente não na forma livre.

Este fato pode sugerir que a origem destes metais seja remota, pela ação de acumulação na natureza durante os anos e não por contaminação de atividades antrópicas recentes.

A PF foi de 7,91%.

Tabela 7 – Composição química da argila por FRX

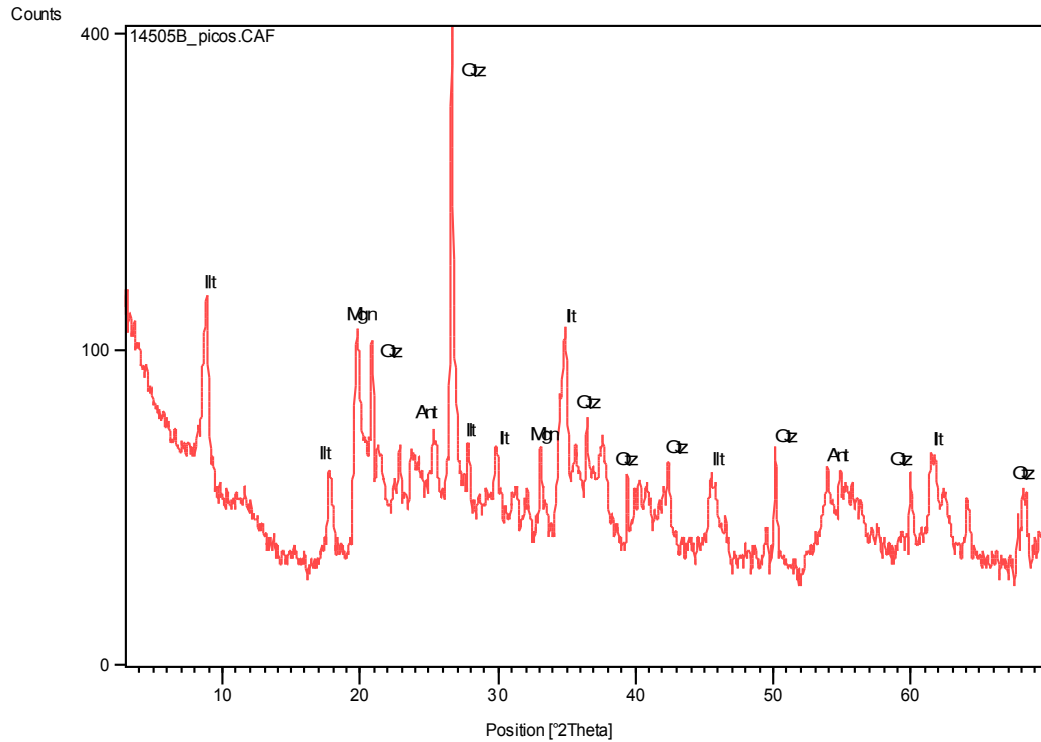
Amostra	%	E.A.
Argila tipo Taguá		
SiO ₂	54,58	0,1
Al ₂ O ₃	21,40	0,05
Fe ₂ O ₃	8,33	0,03
K ₂ O	4,98	0,02
MgO	1,53	0,01
TiO ₂	0,95	0,01
P ₂ O ₅	0,17	0,004
MnO	0,12	0,004
Rb, Zr	0,02	0,001
Ba, Zn, Cr, Ca, S	<<	
PF	7,91	

4.2.4.2. Difractometria de Raio X

Na Figura 25 podemos observar a presença da illita, que é um dos argilomineral importante, pois confere a argila plasticidade e compactação nas amostras cruas da cerâmica.

O quartzo também está presente neste material como um elemento cristalino, sendo um importante fornecedor de SiO₂.

A coloração vermelha do material é justificada pela presença de Fe (8,33%) na forma de Magnetita (Tabela 7).



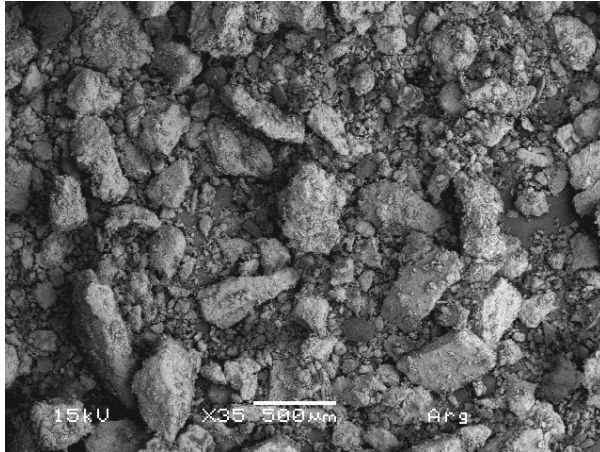
Mineral	Fórmula
Quartzo (Qtz)	Si O ₂
Ilita (Ilt)	(K , H ₃ O) Al ₂ Si ₃ Al O ₁₀ (O H) ₂
Anatásio (Ant)	Ti O ₂
Magnetita (Mgn)	Fe ₃ O ₄

Figura 25 – Difratoograma da Argila Taguá

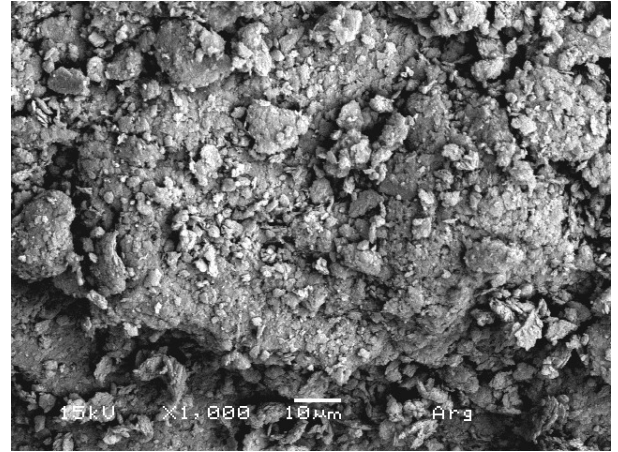
Pode-se ainda observar no difratograma a presença de material amorfo identificado pela altura da linha base de fundo em relação ao ponto zero. Esta característica amorfa irá facilitar, no processo de fusão das amostras, as interações químicas entre os elementos tóxicos (lodo galvânico e areia de fundição e resíduos de jateamento) e demais componentes.

4.2.4.3. Microscopia Eletrônica de Varredura

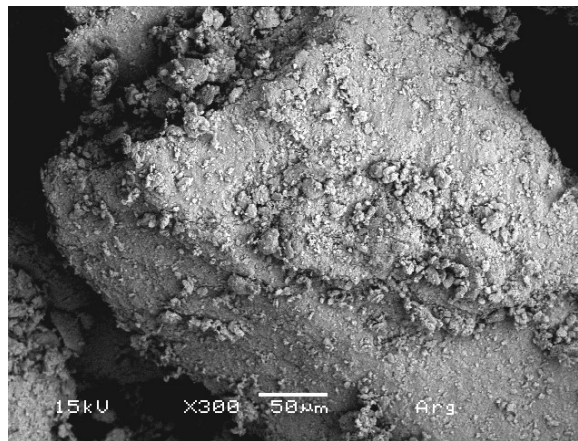
A argila é um material natural e foi submetida à análise depois de seca, para observar as variações da estrutura após a queima, na preparação dos corpos-de-prova.



a 15kV x 35 500 μ m



b 15kV x 1000 10 μ m



b 15kV x 1000 10 μ m

Figura 26 - MEV da Argila natural

A MEV mostra um aspecto físico completamente desagregado das partículas, com variações na sua granulometria, sendo visto grãos pequenos, médios e grandes com formatos diferenciados entre si.

4.2.5 Corpos-de-Prova

Durante os inúmeros testes executados, com várias combinações de concentrações, todos os corpos-de-prova foram sendo submetidos à avaliação preliminar quanto as suas características físicas e mecânicas. Na somatória destes primeiros aspectos avaliados, foram selecionados três corpos-de-prova: M6, M8, M9, os quais foram submetidos posteriormente aos ensaios para avaliação das suas características químicas.

As características químicas alcançadas com os últimos corpos-de-prova foram satisfatórias, confirmadas com o resultado dos ensaios da lixiviação e solubilização do corpo-de-prova M9, 1100 °C e M8 1120 °C.

Os resultados químicos associados às propriedades mecânicas obtidas nos CP's fornecem a garantia de que o produto gerado além de ser uma boa opção para construção civil, não oferece riscos ao meio ambiente.

4.2.5.1. Resultados de Ensaio do Módulo de Resistência à Flexão

Os resultados mais relevantes do Módulo de Resistência à Flexão - MRF dos CP's M6, M8 e M9 estão contidos na Tabela 8 em diferentes regimes de queima.

Tabela 8 – MRF dos CP's M6, M8, M9 em diferentes regimes de queima

CP	Composições				Módulo de Resistência a Flexão; MPa		
	Argila	Poeira jateamento	Areia fundição	Lodo galvânico	1100° C	1120 °C	1150 °C
M6	25	25	30	20	10,43 (2h)	--	11,88 (2h)
					10,99 (4h)	9,97 (4h)	--
					9,922 (6h)	--	--
M8	30	20	25	25	10,23 (2h)	--	10,96 (2h)
					10,91 (4h)	11,68 (4h)	11,20 (4h)
					11,68 (6h)	10,03 (6h)	--
M9	30	25	20	5	13,49 (2h)	--	--
					12,81 (4h)	11,46 (4h)	--
					11,98 (6h)	--	--

Nota: conforme NBR 13818/1997

Na análise dos valores obtidos na Tabela 8 pode-se ver que :

- a) o aumento de tempo de queima não altera significativamente a MRF das amostras (M8, M6, M9; 1100 °C; 1120 °C);
- b) apesar de não ter diferença significativa nos valores da MRF, o comportamento das amostras varia entre elas conforme o tempo de queima, M8 – 1100 °C aumenta com o tempo e M9 – 1100 °C diminui;
- c) observa-se que o MRF da amostra M9 apresenta-se um pouco maior que as outras, talvez este fato se dê pelo aumento da argila e do lodo galvânico;
- d) observa-se que o aumento do teor de areia de fundição, não aumenta o MRF a 1100 °C, devido a que esta temperatura não ser própria para sua fusão dos componentes;
- e) os dados obtidos não fornecem muitas informações referentes ao MRF comparando as variações de temperaturas e tempos; provavelmente porque as diferenças de temperatura de queima foram muito próximas.

4.2.5.2 Resultado de Ensaio de Densidade

Os resultados das médias das densidades, obtidos pela média aritmética das razões da massa pelo volume, estão contidos na Tabela 9.

Tabela 9 - Médias das densidades

Médias	M6 (1100°C)	M8 (1100°C)	M8 (1120°C)	M9 (1100°C)
Densidade CP úmida, g/cm ³	2,01	2,05	1,938	2,97
Densidade CP seca, g/cm ³	1,78	1,70	1,70	1,67
Densidade CP queimada, g/cm ³	2,02	2,03	1,97	1,92

Na análise feita na Tabela 9 pode-se ver:

- a) no processo de secagem dos corpos-de-prova a densidade de todos materiais apresentaram uma diminuição considerável;

- b) destaque é dado para o CP M9, 1100 °C onde a variação apresentada foi maior, diminuindo de 2,97 até 1,67 g/cm³ (1,30 g/cm³);
- c) em relação ao processo de queima das amostras secas percebe-se que o comportamento foi o oposto ao processo de secagem, onde ocorreu um aumento da densidade final dos CP's;
- d) destaque é dado para o CP M8 1100 °C que apresentou maior variação, aumentando de 1,70 até 2,03 g/cm³;
- e) durante a queima acontece parcialmente um processo de fusão e retração linear dos corpos-de-prova.

4.2.5.3. Resultado de Ensaio da Retração Linear

Este parâmetro explica com maior clareza as mudanças dos valores das densidades durante a queima dos CP's, pois à medida que o material entra em fusão ocorre o aumento da densificação do CP. Na Tabela 10 são comparados os valores das Retrações Lineares (RL) obtidas dos CP's queimados e as densidades enquanto secos e depois de queimados.

Tabela 10 – Comparação entre RL e densidade dos CP's

CP's	Composição				RL %	Densidade CP Seco g/cm ³	Densidade CP Queimado g/cm ³
	Argila	Poeira jateamento.	Areia fund.	Lodo galvân.			
M6	25	25	30	20	9,00	1,78	2,02
M8	30	20	25	25	8,91	1,70	2,03
M9	30	25	20	25	8,72	1,67	1,92

4.2.5.4 Resultado de Ensaio da Absorção de Água

Os resultados obtidos, contidos na Tabela 11, classificam os CP's, segundo o ensaio de Abs, Grupo BIb ($Abs \% 0,5 < Abs \leq 3$) conforme a Tabela 2 da norma da ABNT.

Tabela 11 - Resultados das médias da absorção de água

	M6 (1100°C)	M8 (1100°C)	M8 (1120°C)	M9 (1100°C)
ABS - %	0,86	1,54	1,44	1,39

Nota: conforme NBR 13818/97

No Quadro VII das Características das Placas Cerâmicas para Revestimento do Anexo T - normativo, pode-se enquadrar o produto originado como placa de revestimento com área inferior a 57 cm². Para estas especificações de tamanho de produto, a norma ABNT 13.818:97 isenta dos resultados obtidos nos ensaios de MRF, não sendo este um parâmetro de grande importância neste caso.

4.2.5.5 Resultados de Ensaio de Resistência a Agentes Químicos

Os resultados obtidos no ensaio de RAQ (Figura 39) foi concluído segundo avaliação da Tabela V, contida no Anexo H, página 33, da NBR 13.818/97.

Os corpos-de-prova foram avaliados como se fossem peças esmaltadas (GL – *glazed*) devido a sua característica visual e pelos resultados da absorção de água quando demonstraram propriedades de impermeabilidade, semelhantes aos materiais esmaltados.

Na avaliação visual da NBR 13818:97, o uso da Tabela V – Procedimento Sistemático de Classificação, só é aplicável se a superfície das peças submetidas ao ensaio de resistência a agentes químicos, apresentarem facilidade na retirada dos resíduos de lápis com dureza HB nas partes não ensaiadas. Sendo assim, as peças após ficarem imersas nos tempos pré-definidos, nas soluções de ácidos e álcalis

fracos e fortes, soluções estas, preparadas de acordo com os dados da norma em questão, foram classificadas:

- a) Classe GA – para produtos químicos domésticos e de piscinas;
- b) Classe GLA – para ácidos e álcalis com baixa concentração;
- c) Classe GHA – para ácidos e álcalis com alta concentração.

Este resultado está coerente com os resultados da lixiviação e solubilização, pois apresenta ação baixíssima de produtos químicos sobre as peças.

4.2.5.6. Resultado de Ensaio da Difractometria de Raio X

Na Figura 27 foram agrupados os difratogramas do CP M8 em três tempos e temperaturas diferentes:

- a) (23305-E) M8 seco e sem queimar;
- b) (23305-D) M8 queimado na temperatura de 950 °C por 2 horas;
- c) (2335-A) M8 queimado na temperatura de 1120 °C por 6 horas.

Percebe-se na análise dos gráficos da Figura 27 que as diferenças entre eles, referentes as suas características mineralógicas são pequenas.

A presença do quartzo é constante em todas as amostras e a partir da 950 °C desaparece a illita e surgem a cristobalita, hematita e a magnetita.

Os gráficos 23305 D e 23305 A, onde há um aumento da temperatura de queima mostra o aparecimento de mais um pico da magnetita e aparentemente desaparece a hematita, isto se deve a transformação estrutural de hematita para magnetita.

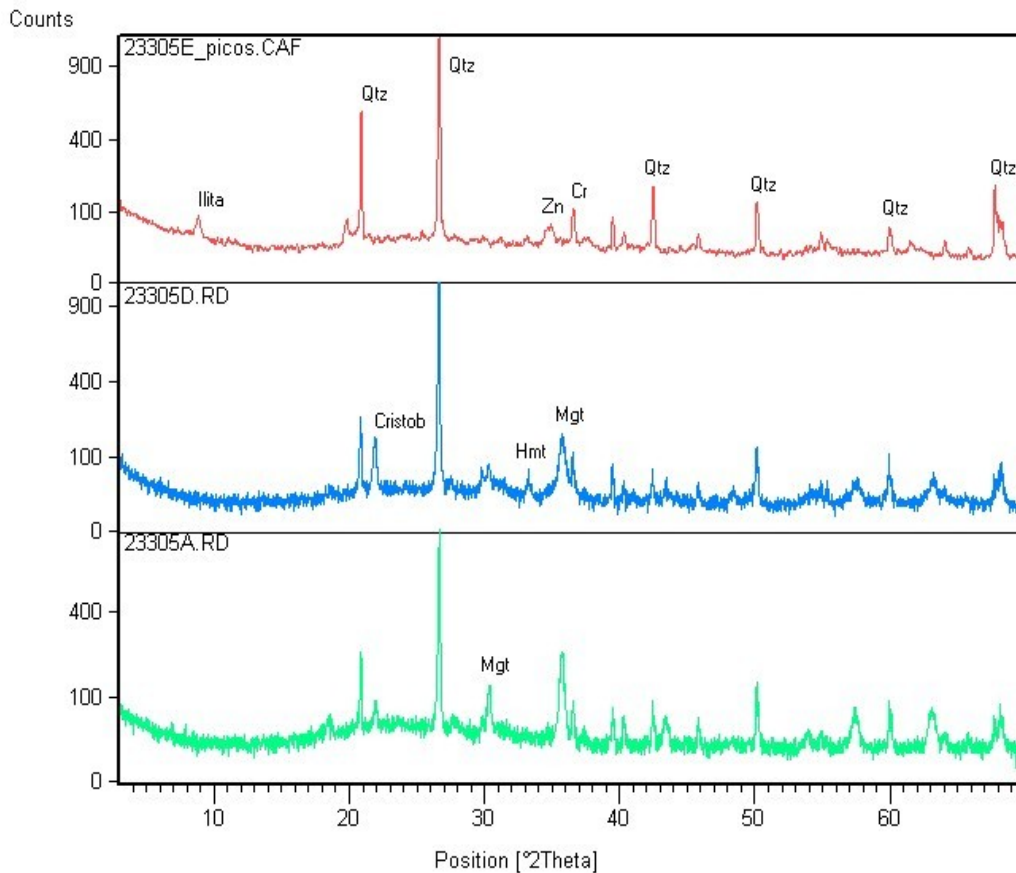


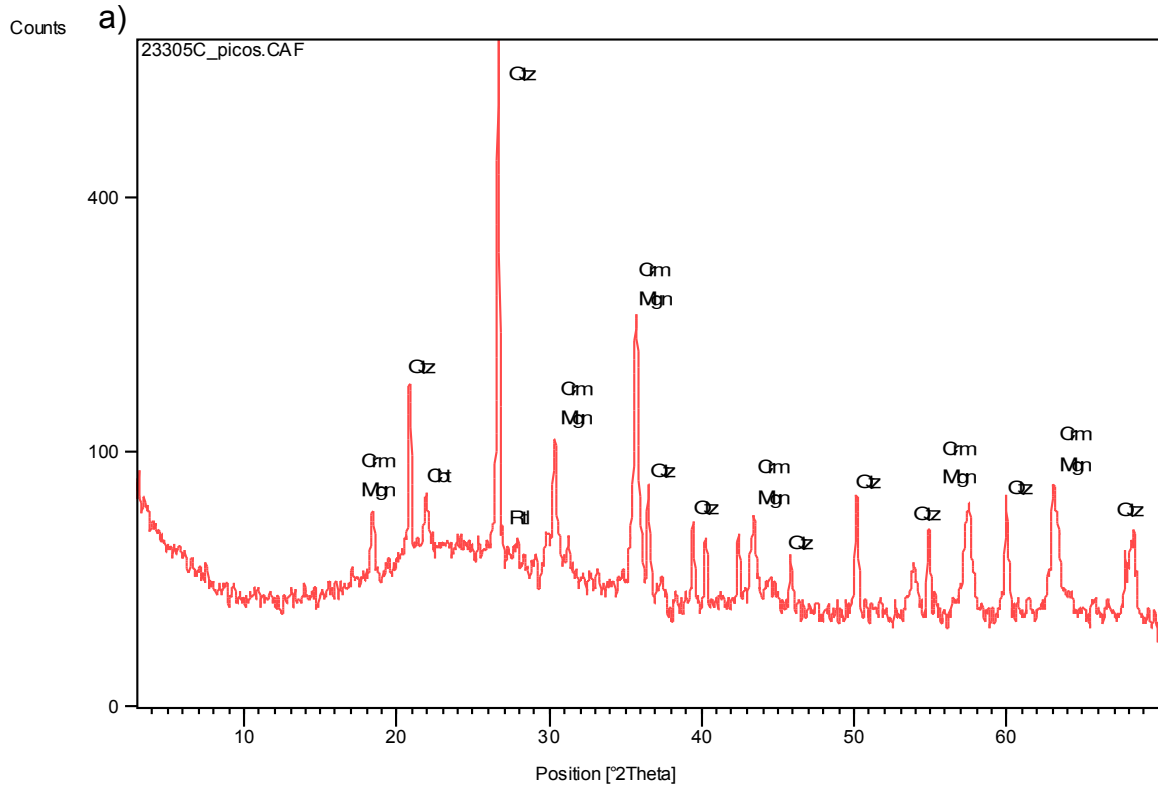
Figura 27 – Difratoograma do CP M8 seco (23305E), queimado a 950° c/2h (23305D) e 1120° C/6h (23305A)

Os corpos-de-prova selecionados para testes finais demonstraram, na DRX, que a variação da composição mineralógica é insignificante com o aumento da temperatura de queima e dos tempos de queima entre os CP's M6, M8 e M9.

Na Figura 28 - a,b, são apresentados os resultados do CP M9 com pequena variação de temperatura (1100° C e 1120° C), mas com 4 horas de diferença de tempo de queima. Nestas temperaturas já houve a transformação total da hematita em magnetita.

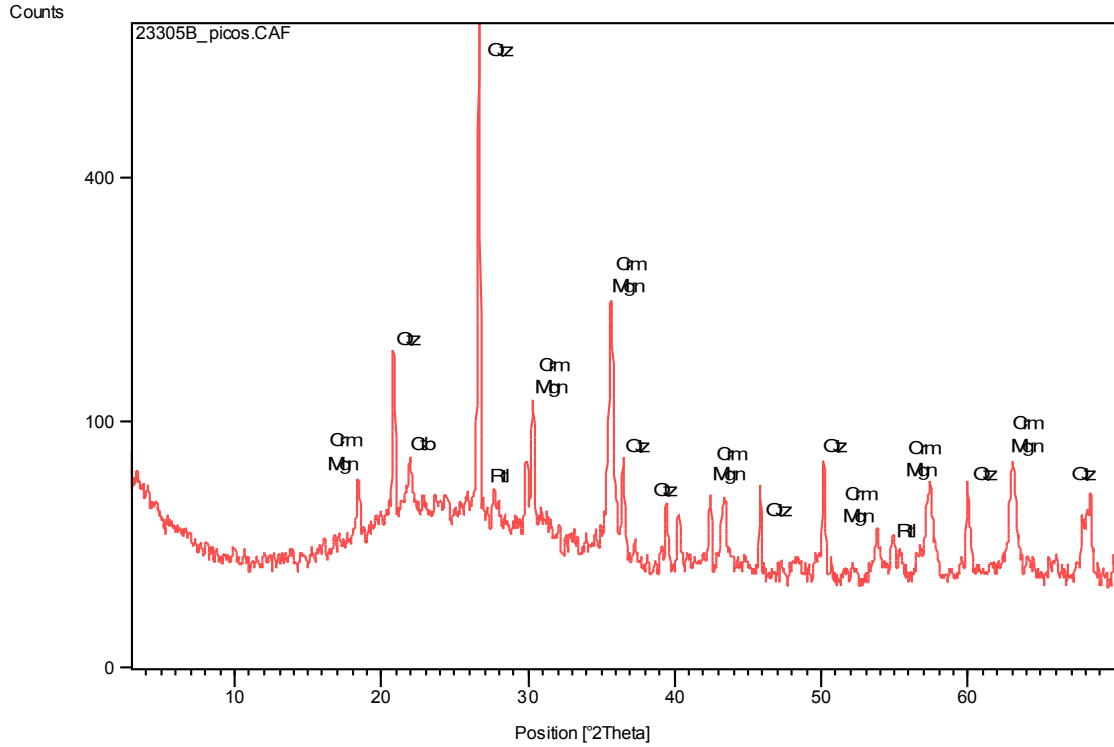
A visível constância de intensidades dos picos de DRX significa, que para todas as amostras, mesmo com temperaturas e tempos de queimas diferentes, a composição mineralógica não altera mais do que 5% (limite de sensibilidade do método). Neste caso, a mudança de propriedades dos materiais, provavelmente

pode ser explicada por influências da mudança do nível de vitrificação dos CP's com o aumento da temperatura de queima.



Mineral	Fórmula
Quartzo (Qtz)	Si O ₂
Magnetita (Mgn)	Fe ₃ O ₄
Cristobalita (Cbt)	Si O ₂
Rutilo (Rtl)	Ti O _{1.892} (O H) _{0.108}
Cromita (Crm)	Fe (Cr , Al) ₂ O ₄

b)



Mineral	Fórmula
Quartzo (Qtz)	Si O ₂
Magnetita (Mgn)	Fe ₃ O ₄
Cristobalita (Ctb)	Si O ₂
Rutilo (Rtl)	Ti O ₂
Cromita (Crm)	Fe Cr ₂ O ₄

Figura 28 – Difratoformas a - CP M9 1100 °C/2h e b - CP M9 1100 °C/6h

Na Tabela 12 estão os resultados da análise dos difratogramas. Nela são comparados os resultados da análise do CP M8 sem queimar e com dois diferentes regimes de queimas com os difratogramas do CP M9 1100° C/ 6h e 1120° C/ 2 h, podendo observar que:

Tabela 12 – Mudança de composição mineralógica de amostras durante a queima

	Mistura seca		M8-950 ^o -2h		M8-1120 ^o -6h		M9-1100 ^o -6h		M9-1120 ^o -2h		
	d, Å	I, %	d, Å	I, %	d, Å	I, %	d, Å	I, %	d, Å	I, %	
1	9,969	3,91									Minerais
2	4,470	4,43									II
3					4,792	2,69	4,809	4,44	4,806	4,96	Mg, Cr
4	4,251	25,94	4,259	19,45	4,249	23,79	4,262	19,93	4,256	19,64	Q
5			4,045	14,27	4,037	5,60	4,048	5,20	4,043	5,19	Crb
6	3,341	100,00	3,345	100,00	3,340	100,00	3,342	100,00	3,342	100	Q
7					3,207	2,26	3,210	1,66	3,214	1,32	RU
8			2,993	3,77	2,996	2,90	2,989	5,85	3,062	0,98	
9			2,944	5,67	2,938	11,62	2,946	13,33	2,942	12,21	Cr, Mg
10	2,702	1,19	2,684	2,46							Hem
11	2,563	3,28									Cr
12			2,508	16,66	2,510	29,09	2,516	30,85	2,514	32,70	Cr, Mg,
13	2,454	7,04	2,456	7,86	2,456	7,61	2,457	8,07	2,457	9,00	Hem
14	2,392	1,27							2,404	1,61	Crb, Q
15	2,279	4,93	2,281	5,86	2,281	6,14	2,283	4,34	2,283	5,74	ZN, Ru
16	2,234	2,25			2,236	5,00	2,236	3,47	2,241	3,65	Cr
17			2,129	4,52	2,130	5,88	2,126	5,13	2,131	4,63	Hem, Ru
18	2,127	13,99									Q, Crb
19			2,082	2,35	2,089	4,09	2,083	4,69	2,084	6,30	Cr
21	1,978	2,01	1,981	2,49	1,980	4,01	1,982	4,95	1,981	3,13	Cr, Hem,
22	1,818	9,98	1,819	10,90	1,819	12,18	1,819	8,73	1,820	7,69	Mg, Zn
23					1,700	2,04	1,704	2,90	1,700	2,77	II, Q
24	1,669	1,75	1,673	2,31	1,673	2,2	1,673	2,33	1,673	5,37	Q
25	1,543	3,90	1,542	6,35	1,543	7,52	1,543	6,62	1,543	8,37	Zn, Crb,
26	1,506	1,56			1,605	6,87	1,605	6,48	1,601	7,65	Cr, Mg
27			1,471	4,17	1,475	6,75	1,471	6,40	1,476	6,98	II, Q, Ru
28	1,453	1,65			1,453	1,75					Q, Zn,
29	1,417	0,69			1,420	0,96					Hem, Cr
30	1,382	13,43	1,373	5,76	1,383	5,27			1,384	3,55	Q
31	1,372	4,71			1,375	6,36	1,372	5,54	1,373	4,80	Q, Zn,

Legenda da Tabela 12

Abrev.de Tabela 1A	Minerais	Formula química	Ref. Code
Il	Illita	$K_05 (Al, Fe, Mg)_3 (Si, Al)_4 O_{10} (OH)_2$	09-0343
Q	Quartzo low	Si O ₂	86-1560
Crb	Cristobalita low, syn	Si O ₂	77-1316
Mg	Magnetita	Fe ₃ O ₄	75-0449
Hem	Hematita	Fe ₂ O ₃	85-0987
Cr	Chromita, aluminio	Fe (Cr, Al) ₂ O ₄	03-0873
Ru	Rutilo	Ti O _{1.892} (OH) _{0.108}	86-0146
Zn	Zincita	Zn O	75-1526

- a) durante a queima do CP M8 desaparece completamente o mineral argiloso Illita;
- b) aparece Cristobalita de baixa temperatura e Rutilo;
- c) curvas DRX de M8 e M9 apresentam diferenças não significativas entre os CP's a medida que a temperatura e o tempo variam. Estas pequenas mudanças de posições e intensidades de picos ficam no nível de sensibilidade do método de DRX.

O fato dos CP's apresentarem composições mineralógicas bem próximas, reflete nos resultados também bastante próximos das propriedades físicas finais do produto originado, como resistência a flexão, absorção de água, retração linear, etc.

4.2.5.7 Resultados dos Ensaio de Microscopia Eletrônica de Varredura

A Figura 29 - a,b,c,d,e, da MEV dos CP's escolhidos para os ensaios finais (M6, M8 e M9) possibilitam identificar a formação de uma massa bastante densa e homogênea, proveniente da fusão dos materiais. Após a queima das misturas dos 4 componentes que compõe os CP's, antes agregadas mecanicamente, observa-se pelas micrografias o surgimento de um novo material com alta densidade e com forte ligação entre as partículas, próprio de uma estrutura vítrea.

Pode-se perceber também a presença de poros arredondados (Figura 29,a) originados devido ao formato das microesferas de vidro ou pela formação de gases durante a queima.

As bordas extremamente lisas dos poros indicam que estes são bem delimitados (Figura 29, b) como é visto na magnificação de 1000 vezes.

Outro detalhe visível, na magnificação com 1000 (Figura 29,c) e especialmente com 3000 vezes (Figura 29, d), é a estrutura amorfa (vítrea) e a formação de linhas formadas na superfície da peça, que podem ter sido formadas durante a fusão do vidro.

Esta estrutura vitrificada explica os bons resultados do Módulo de Resistência a Flexão e justifica a presença de substância amorfa no ensaio de Difratomia de raio X.

A Figura 29 b, c, d, e, mostra visivelmente a formação de micro e macro “ondas” formadas pelo movimento do material vítreo fundindo quando em estado líquido durante a queima.

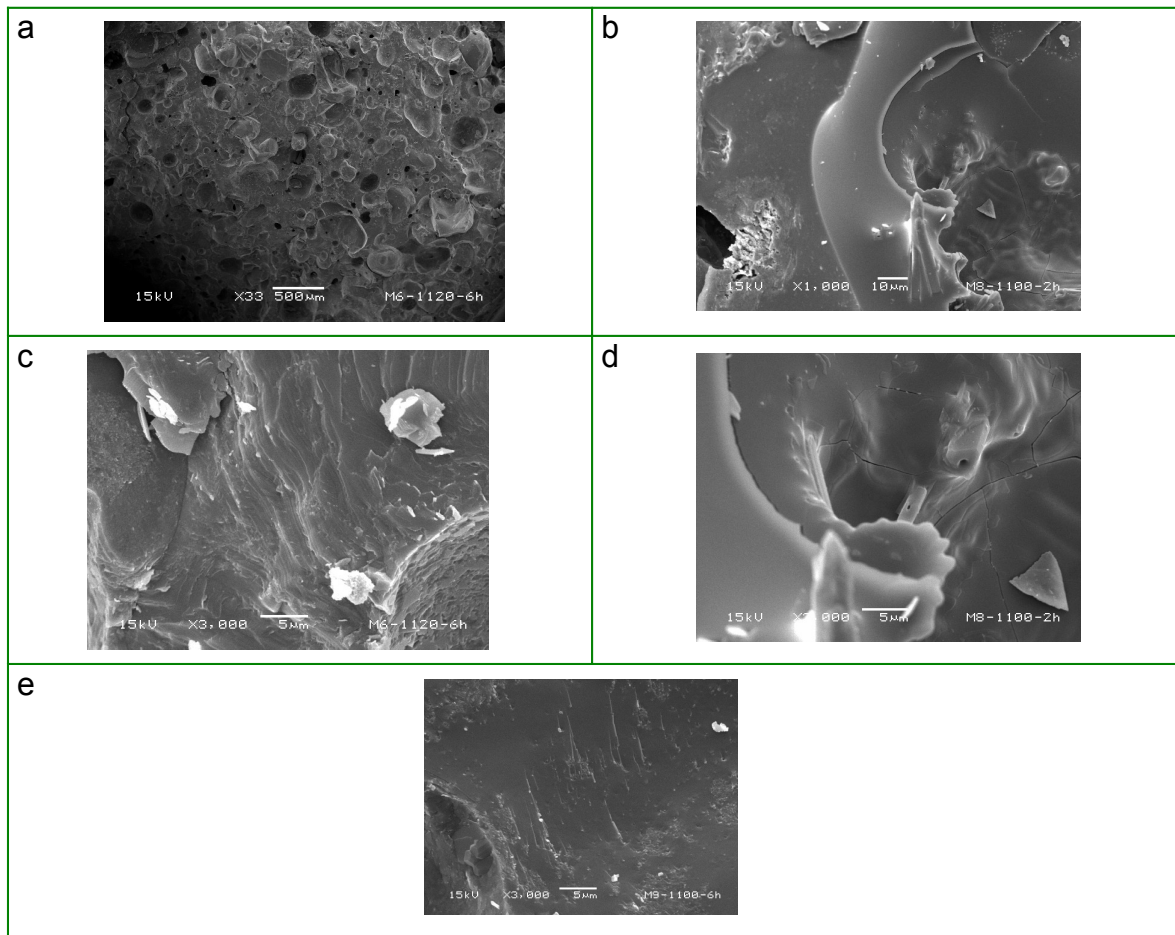


Figura 29 – MEV dos CP's

4.2.5.8 Solubilização e Lixiviação

Os resultados obtidos nos ensaios de solubilização e lixiviação (Tabelas 13 e 14; Anexo 5) demonstram que o material apresenta certa estabilidade química no que diz respeito às ligações geradas entre o lodo galvânico e os demais resíduos da mistura.

Isto é visível nos teores de metais encontrados no lixiviado e no solubilizado dos CP's M8 e M9 queimados a 1120 °C e 1100 °C, respectivamente, por 6 horas.

Tabela 13 – Resultado CP M8/1120° C - conforme NBR 10004/10005/10006

Lixiviação– Ensaios Instrumentais e Físico Químico				
Ensaio	Resultado	Unidade	Metodologia	Limites*
Cromo total	< 0,05	mg/l	EAA/CH	5.0
Ferro	0,06	mg/l	EAA/CH	-
Níquel	< 0,05	mg/l	EAA/CH	-
Zinco	< 0,10	mg/l	EAA/CH	-
Solubilização – Ensaios físico-químicos				Limites*
Fenóis	0,001	mg/l	4 aminoantipirina Hach	6.0 10 ⁻⁴

Nota: NBR-1004.2004 - não há valores desenvolvidos para estes elementos

Tabela 14 – Resultado do CP M9/1100° C - conforme NBR 10004/10005/10006

LIXIVIAÇÃO – Ensaio instrumentais				Limites*
Ensaio	Resultado	Unidade	Metodologia	
Cromo total	< 0,05	Mg/l	EAA/CH	5,0
Ferro	0,09	Mg/l	EAA/CH	*
Níquel	< 0,05	Mg/l	EAA/CH	*
Zinco	< 0,10	Mg/l	EAA/CH	*
SOLUBILIZAÇÃO – Ensaio instrumentais				Limites *
Ensaio	Resultado	Unidade	Metodologia	
Cromo total	< 0,05	Mg/l	EAA/CH	0,05
Ferro	< 0,05	Mg/l	EAA/CH	0,3
Níquel	< 0,05	Mg/l	EAA/CH	*
Zinco	< 0,10	Mg/l	EAA/CH	5,0
Alumínio	< 0,10	Mg/l	EAA/CH	0,2
Cobre	<0,05	Mg/l	EAA/CH	2,0
SOLUBILIZAÇÃO – Ensaio físico-químicos				Limites*
Fenóis	0,02	Mg/l	4 aminoantipirina Hach	6,0 10 ⁻⁴

* NBR 1004:2004

Para avaliar melhor o resultado do ensaio de lixiviação foi comparada a percentagem dos metais analisados no lodo galvânico puro, segundo o resultado do ensaio de FRX, que contém os teores mais relevantes de Cr total e Zn e os teores que estariam na mistura do CP M8 contendo 20% e M9 contendo 25% deste lodo.

Na Tabela 15 pode-se verificar a redução destes metais após a queima.

Tabela 15 – Análise comparativa de teores de metais nos CP's M8 e M9

Lodo Galvânico – 20% para M8				
Metais	FRX %	Mistura %	Lixiviado Mg	Redução
Cr total	16,56	3,312	< 0,05	< 1/66
Zinco	11,83	2,366	< 0,10	< 1/23
Lodo Galvânico – 25% para M9				
Metais	FRX %	Mistura %	Lixiviado Mg/	Redução
Cr total	16,56	4,14	< 0,05	< 1/82
Zinco	11,83	2,957	< 0,10	< 1/29

Estes resultados de teores muito baixos apresentados no lixiviado resultam da interação química extremamente forte com outros componentes da mistura durante a queima com temperatura 1100 °C e 1120 °C, originando uma estrutura vítrea, como comprovado nos ensaio de MEV dos corpos-de-prova finais.

O elemento cromo foi quimicamente ligado até alcançar um teor inferior ao da sensibilidade da análise de Espectrofotometria de Absorção Atômica, isto é, menor que 0,05 mg/L. Este resultado é pelo menos 100 vezes menor que as normas Brasileiras atuais (Tabelas 14,1 5, 16).

Os limites de tolerância para os metais Fe, Ni e Zn ainda não foram definidos pela a NBR, porém a redução de 11,83% de Zn com presente no lodo puro para valor < 0,10 mg/l, faz acreditar que a ligação química deste e dos demais metais também darão resultados positivos, similares ao da lixiviação e solubilização do cromo.

Dados de solubilização demonstram que o teor de Fe está 6 vezes menor que os limites da NBR (Zn: 50 vezes, Al: 2 vezes e Cu: 40 vezes menor do que limites de solubilização de NBR 1004:2004).

De todas as substâncias analisadas, apenas os teores de fenóis ficaram acima da tolerância da NBR. Na tecnologia de galvanização não existe esta substância e nos corpos-de-prova estudados a sua presença está associada a areia de fundição (25% em M8 e 20% em M9, - Tabela 14,15,) proveniente do processo produtivo de preparo dos moldes.

Os bons resultados obtidos nos ensaios de solubilização e lixiviação dos CP M8 e M9 são justificados por dois fatores importantes ocorridos durante a queima das amostras:

- a) a primeira pelo fato da fusão do material vítreo que promove o encapsulamento, como um revestimento, que engloba com extremo contato, todos os metais pesados e outras partículas potencialmente tóxicas;
- b) a segunda é porque ocorrem ligações extremamente estáveis entre estas partículas e as estruturas cristalinas existentes na mistura e as que são formadas durante a queima do material;
- c) a incorporação de lodo galvânico pode atingir a percentagem de até 25% na combinação em matriz argilosa que ainda permite bons resultados de retração linear, que é um importante parâmetro comercial;
- d) a incorporação de poeira de jateamento, composta de 75% de SiO_2 , como mostra a Tabela 4, demonstra que este material é um bom fundente para se aditivar na matriz argilosa, apresentando boa sinterização nas temperaturas de 1100 °C a 1150 °C;
- e) as combinações feitas com argila, poeira de jateamento e lodo galvânico, permitem inertização dos metais pesados presentes, reduzindo o teor de cromo e zinco contidos nos valores de 20 e 25% destes resíduos nas amostras M8 e M9, para valores que ultrapassam 50 vezes menos aos limites máximos da NBR segundo demonstrado nos ensaios de lixiviação e solubilização da Tabela 16;
- f) a combinação de poeira de jateamento com a argila para compor o corpo-de-prova, colaborou para os resultados da absorção de água e módulo de resistência a flexão, devido aos altos teores de materiais fundentes, pois isto auxilia a densificação da massa;
- g) apesar de não haver diferença significativa nas variações de concentrações dos materiais que compõe os corpos-de-prova, as amostras M9 preparadas com as concentrações de 30% de argila, 25% de poeira de jateamento, 20% de areia de fundição e 25% de lodo galvânico e queimadas a 1100 °C para 2 horas, 4 horas e seis horas, apresentaram os melhores resultados nos ensaios de MRF como mostra a Tabela 5;

- h) os resultados dos ensaios de solubilização indicam a impossibilidade de se acrescentar areia de fundição, utilizada com o objetivo de substituir a areia natural, nas quantidades de 30 e 20% nas combinações dos corpos-de-prova M8 e M9, devido à presença de fenol no material; a incorporação de lodo galvânico e poeira de jateamento em matriz argilosa representa uma boa alternativa para o problema de grandes volumes destes resíduos na disposição final no meio ambiente.

A conclusão final deste trabalho mostra que foi alcançada uma alternativa tecnológica para inertização de metais pesados, uma solução viável para a implantação de produção mais limpa além de apresentar uma opção comercial para peças cerâmicas de baixo custo.

5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES

5.1 MINIMIZAÇÃO

Com aplicação de ações de minimização de uma indústria com setor galvanotécnico pode-se obter benefícios de qualidade de produto, ambiental e para a saúde humana, além de promover economia de matérias primas e insumos.

Os resultados alcançados com implantação de uma Produção Mais Limpa para os resíduos, lodo galvânico e areia de jateamento foram:

a) lodo:

- redução de aproximadamente R\$ 16.000,00 na compra de produtos químicos para o tratamento dos efluentes,
- redução de aproximadamente R\$ 7.800,00 no custo do envio do lodo para coprocessamento.
- melhorias na linha de produção, diminuição de número de banhos executados para tratar o mesmo tipo de peças, em função da otimização das gancheiras, redução nos volumes de descartes em função das mudanças dos sistemas de lavagens, aumento na vida útil dos banhos químicos devido à diminuição de contaminação pelos arrastes, facilidade operacional na Unidade de Tratamento de Efluentes e a diminuição do aspecto ambiental dos lodos úmidos mal acondicionados.

b) poeira de jateamento:

- redução de aproximadamente R\$ 9.000,00 na compra da microesfera de vidro para a limpeza mecânica;
- diminuição do aspecto ambiental da poeira sendo descartada inadequadamente e do impacto ambiental da poeira dispersa no ambiente fora da indústria.

Aqui se destaca que, dentro de um Sistema de Produção Mais Limpa, em que as ações de minimização se renovam sempre e os requisitos do Gerenciamento dos Resíduos são obedecidos, o tempo utilizado para avaliar as melhorias alcançadas não pode ser limitado no tempo, pois a busca da melhoria contínua promove alterações na situação da indústria dia após dia. O tempo mostra que a ação de

minimização adotada abrange setores que nem sequer foram considerados nos levantamentos iniciais.

5.2 TESTES E ENSAIOS LABORATORIAIS

Os resultados dos ensaios realizados no capítulo anterior permitiram concluir sobre a viabilidade técnica da incorporação do lodo galvânico, poeira de jateamento, areia de fundição e a argila, para a obtenção de pequenas peças cerâmicas, por método prensado, em temperaturas de 1100 e 1120° C, durante seis horas.

Com base nestes resultados foi solicitado o pedido de patente junto ao Instituto Nacional de Propriedade Industrial, protocolado sob o número PI 0503499-0, com o título “Composições de cerâmica Vermelha de Baixa Temperatura Utilizando Altos Teores de Lodo Residual de Processos Galvânicos (Anexo 6).

A avaliação associada das características mecânicas e químicas dos corpos-de-prova confeccionados mostrou ser possível a incorporação de resíduos galvânicos, classe I, segundo NBR 10004:2004, produzindo uma alternativa tecnológica para inertização de metais pesados, uma solução plausível para a implantação de produção mais limpa, além de apresentar uma boa opção comercial para peças cerâmicas de baixo custo.

Apesar dos resultados satisfatórios alcançados na utilização de resíduos galvânicos como matéria-prima para preparação de novos produtos e de uma alternativa para minimizar os descartes de resíduos para aterros controlados, deve-se considerar que a incorporação em base argilosa, não deverá ser uma solução definitiva para o problema dos grandes volumes destes resíduos tóxicos.

Há de se buscar, otimizações de processos na linha de produção, nos sistemas de descartes para possibilitar a segregação dos efluentes e por fim obter lodos com teores mais altos de um mesmo metal permitindo, desta forma, a recuperação destes através de vias eletrolíticas e retorno dos metais para a linha de banhos químicos.

Com isso, o objetivo deste trabalho foi atingido, através da apresentação dos resultados satisfatórios obtidos nos ensaios de absorção de água, módulo de resistência de flexão, retração linear, lixiviação e solubilização, além dos aspectos

visuais da boa vitrificação, para incorporação de 20 a 25% de lodo galvânico na massa cerâmica.

A incorporação de outros resíduos que não o lodo galvânico também é possível, alcançando a percentagem de até 75% de resíduos industriais.

A retração linear obtida com estas combinações fornece um bom resultado para este parâmetro quanto ao aspecto da industrialização apresentando percentagens de retração entre 8,72% e 9,0% nos 3 corpos-de prova finais.

Os resultados da absorção de água ($0,5\% < \text{Abs} > 3\%$) enquadra o material cerâmico no grupo Blb, segundo a NBR 13818 e indica que ocorreu uma boa vitrificação. Os valores alcançados na Absorção de Água foram de 0,86% a 1,54%.

Os módulos de resistência à flexão alcançados indicam, segundo a NBR 13818, que o material pode ser direcionado para confecção de pequenas peças cerâmicas para revestimento, apresentando os resultados com valores de 9,92 MPa até 13,49 MPa.

A excelente resistência ao ataque de ácidos e álcalis representa uma característica importante para peças confeccionadas, pois demonstra sua capacidade de retenção de elementos nocivos em sua composição, sem riscos a remoção para o meio ambiente além de dispensar na sua industrialização, o processo de esmaltação.

A caracterização do lixiviado e do solubilizado dos corpos-de-prova M9 – 1100° C e M8 – 1120° C, demonstram que ocorreu a inertização dos metais pesados reduzindo drasticamente os teores de metais inicialmente presentes nos resíduos puros, atendendo a legislação específica em vigor. Quanto à presença de fenol, será necessário a substituição do tipo de areia de fundição utilizada, ou estudar formas viáveis de reduzir sua presença de fenol neste resíduo, através de tecnologias de eliminação do fenol do resíduo sólido ou ainda substituição da resina fenólica para outro material agregador para formação dos moldes.

O entendimento sobre as propriedades físicas, químicas e mecânicas dos corpos-de-prova confeccionados, foi alcançado após a conclusão dos ensaios de Microscopia Eletrônica de Varredura, Fluorescência de Raios X, Difractometria de Raios X. Concluiu-se que, houve durante o processo de queima das peças cerâmicas, compostas com os resíduos do setor galvanotécnico, areia de fundição e argila, o surgimento de um novo material cerâmico, com estrutura vítrea bastante homogênea e densa, com características semelhantes ao vidro.

O estudo realizado dá subsídios para o aprofundamento na questão de transformar o lodo galvânico e a poeira de jateamento em matéria para confecção de um novo produto e desta forma minimizar os descartes industriais além de reduzir o consumo de argila das jazidas naturais.

5.3. SUGESTÕES

Para trabalhos futuros sugere-se:

- Elaborar um programa de Gerenciamento de Resíduos Sólidos Tóxicos para os setores galvanotécnicos para viabilizar o encaminhamento destes materiais para reciclagem.

- Aprofundar os estudos sobre as interações químicas e processo de formação de estruturas vítrea que ocorrem durante o processo de queima das peças nos corpos-de prova M6, M8 e M9 com método de microanálise química.

- Melhorar os contatos entre partículas com o objetivo de eliminar ao máximo a formação de espaços vazios na massa queimada e otimizar os resultados do Módulo de Resistência a Flexão.

- Substituir o resíduo de fundição por areia natural a fim de eliminar a presença de fenóis, ou utilizar método de eliminação de fenol, antes de incorporá-la na massa cerâmica.

- Avaliar outros resíduos tóxicos com potencial de incorporação em massa cerâmica.

- Diminuir as temperaturas de preparação do material cerâmico até 700° C para atender as indústrias cerâmicas e como meio de economizar energia.

- Estudar a viabilidade econômica para a montagem de uma central de processamento de placas cerâmicas em escala industrial.

REFERÊNCIAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR ISO 10.004**: resíduos sólidos: classificação. Rio de Janeiro, 2004.

———. **NBR ISO 9000:2000**: sistemas de gestão da qualidade: fundamentos e vocabulário. Rio de Janeiro, 2000

———. **NBR ISO 13817:1997**: placas cerâmicas para revestimento: especificações e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 1997

———. **NBR ISO 13818:1997**: placas cerâmicas para revestimento: classificação. Rio de Janeiro, 1997

———. **NBR ISO 10.005:2004**: procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004

———. **NBR ISO 10.006:2004**: procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004

———. **NBR ISO 12.235:1987**: armazenamento de resíduos sólidos perigosos. Rio de Janeiro, 1987

———. **NBR-6831:2001** Microesfera de Vidro - especificações. Rio de Janeiro, 2001.

ALBERS A.P.F., MELCHIADES F.G., MACHADO R., BALDO J.B., BOSCHI A.O. **Um método simples de caracterização de argilo-minerais por difração de raios X**. 2001. Florianópolis. 45º CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA. **Anais**.

APETS. Associação Paranaense de Tratamento de Superfície. **Tratamento de superfícies**. Curitiba, 1997. Acervo.

———. **Atividades relacionadas ao tratamento de resíduos**. Curitiba, 2005.

ARMELINI, F.; FERNANDES, B. **Vidro**. São Paulo, 2004. Boletim Técnico.

ASAVAPISIT S., CHOTKLANG D. **Solidification of electroplating sludge using alkali-activated pulverized fuel ash as cementitious binder**. Thailand: Cement and Concrete Research, Vol 34, n 2 pp. 2004

BADOCH, M.T.G. **Gerenciamento ambiental para pequenas e médias empresas – Módulo II: ferramentas para o gerenciamento ambiental**. Curitiba, 2002.

BALATON V. T., GONÇALVES P.S., FERRER L.M. **Incorporação de resíduos sólidos galvânicos em massa cerâmica vermelha**. Revista Cerâmica Industrial., São Paulo, Senai, v. 7, n.6, nov/dez. 2002.

BARTH, N. **A fundição**. Curitiba, 2003. Monografia da Disciplina Fundição. Curso Técnico de Mecânica. Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná.

BASEGIO T.M., BERUTTI F.A., BERGMANN C.P. **Aspectos ambientais no uso de lodo de curtume como matéria prima para cerâmica vermelha**. UFRS/ Laboratório de Materiais Cerâmicos. 2001. Florianópolis. 45º CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA. Anais.

BEI. **Como cuidar do seu meio ambiente**. São Paulo: Bei Comunicações, 2002. Projeto

BERNARDES, A. M., NÍQUEL C.L.V., SCHIANETZ K., SOARES M. R. K., SANTOS M.K., SCHNEIDER V. E. **Manual de orientações básicas para a minimização de efluentes e resíduos na indústria galvânica**. Porto Alegre: Senai, 2000

BERTORELLI, E. **Trattato di galvanotecnica**. Milão: Ed. Ulrico Hoepli, 1977.

BRASIL. **Lei n. 9.605**: Lei de crimes ambientais. Brasília, 1998

BONET I.I. **Valorização do resíduo de areia de fundição (RAF): incorporação nas massas asfálticas do tipo CBUQ**. Florianópolis, 2002. Dissertação de mestrado. Engenharia de Materiais. Universidade Federal de Santa Catarina.

BORLINI M.C. **Cerâmicas preparadas a partir de argila sedimentar com adição de cinzas da matéria orgânica do lixo e celulignina do processo de pré hidrólise de biomassas: propriedades mecânicas e inertização de metais pesados**. São Paulo, 2002. Dissertação de Mestrado. Engenharia de Materiais. Faculdade de Engenharia Química de Lorena.

BRAGANÇA S.R., BERGMANN C.P. **Comparação das propriedades de uma porcelana que utiliza vidro como fundente com uma tradicional – parte II; análise de fases e propriedades mecânicas**. 2004. Curitiba. 48º CONGRESSO BRASILEIRO E ENCONTRO ANUAL DE CERÂMICA. Anais.

CAPRA, F. **As conexões ocultas: ciência para uma vida sustentável**. São Paulo: Ed. Cultrix, 2002.

CASTANHO S.R.H.M., D.M. FERREIRA. **Incorporação de rejeitos sólidos galvânicos em vidros silicatos. instituto de pesquisas energéticas e nucleares**. 2001. Florianópolis. 45º CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA. Anais.

CAVALCANTI, O. (org.). **Desenvolvimento e natureza.:** estudo para uma sociedade sustentável. São Paulo: Fundação Joaquim Nabuco, 2005

CIOFFIA R., LAVORGNAB M., SANTORO L. **Environmental and technological effectiveness of a process for the stabilization of a galvanic sludge**. Journal of Hazardous Materials. n.89, p.165-174, 2002.

CONFEA. **Passando a Produção a Limpo**. Revista do CONFEA. Brasília, ano VI, n.9, mar/abr. 2002.

CRQ - CONSELHO REGIONAL DE QUÍMICA. **Lei n. 2.800: Lei Mater dos Químicos**.

COUTINHO, H.L.; TOCCHETTO, M. L. **Gestão ambiental como estratégia para melhoria da produção**. 2004. Curso de Especialização.

COUTO, D.M.S. **Incorporação de resíduos metalúrgicos em pastas de barro vermelho**. Portugal: Ed. Aveiro, 2000.

CURITIBA. Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos – SEMA, Instituto Ambiental do Paraná – IAP. **Política de resíduos sólidos do estado do Paraná: Programa Desperdício Zero**. Curitiba, 2003

DASHEFSKY, H.S. **Dicionário da ciência ambiental**. São Paulo: Ed. Gaia, 2001.

DENNISON, M.S. **Pollution prevention strategies and technologies**. Rockville, Maryland: Government Institutes, 1996.

DIAS, FREIRE GENIBALDO. **Pegada Ecológica e Sustentabilidade Humana**. São Paulo, Editora Gaia, 2002.

EPA-Environmental Protection Agency. **Waste minimization opportunity**. Assessment Ohio: EPA. 1988.

ESPINOSA, D.C.R.; TENÓRIO, J.A.S. **Laboratory study of galvanic sludge's influence on the clinkerization process**. Resource, Conservation and Recycling 31 (2000) 71-82., 2000.

FANG, L.; BAPTISTA, M. V. S.; BARDECKI, M. **Sistemas de gestão ambiental**. Versão para Validação. Brasília, 2001.

FISHER, K.; CLAUB, D. **Gerenciamento e tratamento de resíduos sólidos**. Curitiba: Curso em Cooperação Universidade de Stuttgart, DAAD, Fundacentro, Senai, CEFET, IAP, 2003

FURTADO M. R. **Aterros especiais: oferta responsável não impede de descarte em lixões**. Revista Química e Derivados. São Paulo, nº 434, p. 12, fev. 2005.

GALDINO A.G.S., SILVA M.H.P., NOGUEIRA, R.E.F.Q. **Estudo das propriedades mecânicas de cerâmicas porosas de alumina a 1450° C e 1550° C**. 2004, Campinas. 48° CONGRESSO BRASILEIRO E ENCONTRO ANUAL DE CERÂMICA. Anais.

GALVANOTECHNIK. **Galvanotécnica prática**. Tradução Eng. Peter Albert Földes. São Paulo, Polígono, Ed. Da Universidade de São Paulo, 1973. 2 vol.

GODINHO, K., RABELO T.R., HOLANDA A.G.P. **Incorporação de resíduo de vidro em cerâmica vermelha.** 2004, Curitiba. 48º CONGRESSO BRASILEIRO E ENCONTRO ANUAL DE CERÂMICA. Anais.

GOMES, C.F. **Argilas: o que são e para que servem.** Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1988.

GONÇALVES, R.B. **Impacto do uso de técnicas de produção limpa.** Caxias Do Sul, 1997. Dissertação. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

GUIMARÃES, M. **A dimensão ambiental na educação.** 4ª Edição, Campinas, SP. Editora Papirus, 2001.

HAMMES, V.S. **Percepção do diagnóstico ambiental.** São Paulo: Ed. Globo, 2004.

HÖRLLE L.F., BASEGLIO T.M., BERGMANN C.P. **Incorporação de Resíduos de Fundição em Cerâmicos de Argila Vermelha.** Departamento de Materiais / UFPRGS. 48º CONGRESSO BRASILEIRO E ENCONTRO ANUAL DE CERÂMICA. Anais.

KIELY, G. **Ingenieria ambiental: fundamentos, entornos, tecnologias y sistemas de gestión.** Madri McGraw Hill, 1999.

LUZ A.P.; RIBEIRO S. **Comportamento de queima de uma massa cerâmica contendo pó de vidro como fundente visando a obtenção de grês porcelanato.** 2004, Curitiba. 48º CONGRESSO BRASILEIRO E ENCONTRO ANUAL DE CERÂMICA. Anais.

MAGALHÃES J.M., SILVA J.E., CASTRO F.P., LABRINCHA J.A **Kinetics study of the immobilization of the galvanic sludge in clay-based matrix.** Journal of Hazardous Materials, abr. 2004.

———. **Effect of experimental variables on the inertization of galvanic sludge in clay-based ceramics.** Journal of Hazardous Materials, set. 2003.

———. **Role of the mixing conditions and compositions of galvanic sludges on the inertization process in clay-based ceramics.** Journal of Hazardous Materials, nov. 2003.

MAIA, D.A. **Evolução dos processos galvânicos no Brasil.** Revista Tratamento de Superfície. set/out. 1996.

MILANEZ K.W., KNISS C.T., BERNARDIN A.M., RIELLA H.G., KUHNEN N.C. **Caracterização de Pigmentos Inorgânicos à Base de Fe, Zn E Cr Utilizando Resíduo de Galvanoplastia como Matéria-Prima.** Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC; SC Departamento de Engenharia de Materiais – UNESC, 2004

NAIME, R., SARTOR I., GARCIA, A.C. **Uma abordagem sobre a gestão de resíduos de serviços de saúde.** Revista Espaço para a Saúde. Londrina, v. 5, n. 2, p. 17-27, jun. 2004

OLIVEIRA A.A., CARRER I.R., CORRÊA-SILVA R.H., ANDRADE F.R., CARDOSO H.M., COUTO M.E MARCELLO V.R.. **Estudo da incorporação de vidro de embalagem na fabricação de cerâmica vermelha.** 2004, Curitiba – Paraná. 48º CONGRESSO BRASILEIRO E ENCONTRO ANUAL DE CERÂMICA. Anais.

PACHECO, C.E. MEDEIROS. **Compilação de técnicas de prevenção à poluição para a indústria galvânica:** projeto piloto de prevenção à poluição em indústrias de bijuterias no município de Limeira . 2 ed. São Paulo: CETESB 1999.

PARANÁ. **Lei n.12.493:** estabelece princípios, procedimentos, normas e critério de gerenciamento de resíduos. Curitiba,1999.

PENA-VEGA, A. **O despertar ecológico:** Edgar Morin e a ecologia complexa. Tradução. Renato Cavalheira do Nascimento e Elimar Pinheiro do Nascimento. Rio de Janeiro: Garamond, 2003.

PONTE, H.A. **Tratamento de efluentes líquidos de galvanoplastia.** Disciplina de Eletroquímica, Curso de Engenharia Química, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2002.

PUC - Pontifícia Universidade Católica do Paraná. **Ferramentas para gestão de resíduos sólidos.** Curitiba, 1999. Curso de Complementação.

RODRIGUES, M. V. C. **Ações para a qualidade:** GEIQ, gestão integrada para a qualidade - padrão seis sigma - classe mundial. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2004.

40 ANOS DE COOPERAÇÃO PARA O DESENVOLVIMENTO BRASIL-ALEMANHA - Brasília. Embaixada da República Federal da Alemanha em Brasília. Brasília., 2003.

QUARESMA, M.Y.V. **Prevenção à poluição:** conceitos e definições. São Paulo:, CETESB, 2000. Apostila

SHELLE, G. **Manual de procedimentos para utilização de tecnologia limpa na indústria galvânica.** Curitiba: Citpar-Sidee, 1998. Projeto de Cooperação Técnica Brasil-Alemanha. Convênio GTZ, Agência Brasileira de Cooperação.

SCHLEUDERER, J. **Manual de controle ambiental para empresas de galvanoplastia.** Rio de Janeiro: SEBRAE/RJ, 2000.

SENAI. Serviço Nacional de Indústria. **Manual de orientações técnicas básicas para a minimização de efluentes e resíduos na indústria galvânica.** Porto Alegre: Senai-RS, 2002.

SILVA P.F., RICELLY L., MAIA.L., NAHON S. **Aplicação da metodologia de produção mais limpa na Indústria moveleira Tramontina Belém S/A: estudo de caso cadeira Capri.** Belém: Engenharia Ambiental da Universidade do Estado do Pará, 2003.

SILVA A.C.; CASTANHO S.R.H.M. **Silicato glasses obtained from fine silica powder modified with galvanic waste addition.** Journal of Non-Crystalline Solids. Science Direct, 2004.

SILVA, C.S. **Um estudo crítico sobre a saúde dos trabalhadores de galvanicas, por meio das relações entre as avaliações ambientais, biológicas e otorrinolaringológicas.** São Paulo: Editora da Fundacentro, 1998.

SISINNO C.L.S., OLIVEIRA R.M. **Resíduos sólidos, ambiente e saúde: uma visão multidisciplinar.** Rio de Janeiro: Editora da Fiocruz, 2000.

SKINNER, B. J. **Recursos minerais da terra.** Tradução Helmut Born e Eduardo C. Damasceno. Ed. Edgard Blücher Ltda. São Paulo, 1996.

SOARES J.M.D., REICHERT M., TOMAZETTI R.R., TAVARES I.S. **Adição de resíduo de couro na massa para produção de cerâmica vermelha.** 2001. Florianópolis. 45º CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA. Anais.

SOUZA SANTOS, P. **Ciência e tecnologias de argilas.** São Paulo: Edgard Büchner, 1989.

SPIM, J.A.. **Fundição I: Apostila da disciplina.** Porto Alegre, 2002

SUN DD, TAY JH, QIAN CE, LAI D. **Stabilization of heavy metals on spent fluid catalytic cracking catalyst using marine clay.** Water Sci Technol. Environmental Engineering Research Centre. Nanyang Technological University, Singapore.. 2001;44(10):285-91.

TEIXEIRA S.R, P. ALÉSSIO, SANTOS G.T.A, DIAS F.C. **Influência da data da coleta do lodo de ETA incorporado em massas cerâmicas nas suas propriedades tecnológicas.** 2004, Campinas. 48º CONGRESSO BRASILEIRO E ENCONTRO ANUAL DE CERÂMICA. Anais.

TRISTÃO, M. **A educação ambiental na formação de professores: redes de saberes.** São Paulo: Annablume; 2004.

VALLE, C. E. do. **Como se preparar para as Normas ISO 14000: qualidade ambiental: o desafio de ser competitivo protegendo o meio ambiente.** São Paulo: Pioneira, 2000.

VALENZUELA, J. **Tratamento de efluentes em indústrias galvanotécnicas.** São Paulo: Páginas & Letras, 1999.

ZAPAROLLI D. **Tratamento de superfícies, nanotecnologia substitui fosfatização.** Revista Química e Derivados., Ano XL, n 439, p.12. jul. 2005 .

ZETZSCHE, J. **Elaboração de um plano de gerenciamento integrado de meio ambiente, segurança e saúde ocupacional das indústrias galvânicas de zincagem alcalina, da cidade de Curitiba.** Curitiba, 2002.

ZUGMAN, J., NUNES, J.R. **Tratamento de efluente na indústria de tratamento de superfície.** São Paulo: ABTS, 1999. Apostila do Curso da Associação Brasileira de Tratamento de Superfície.

Documentos eletrônicos

FOLADORI, G. TOMMASINO, H. **Controvérsias sobre sustentabilidade.** Disponível em: < <http://www.unilivre.org.br/centro/textos/Forum/controver.htm>>; Acesso: mai 2004

CASTANHO, R.H.M. **Ipen cria método para transformar resíduo tóxico em vidro.** Disponível em <<http://www1.folha.uol.com.br/folha/ciencia>>. Acesso: maio 2005.

Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente – PNUMA. Disponível em: <http://www.uneptie.org/pc/cp/home.htm>. Acesso: ago 2004

Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial – ONUDI. Disponível em: <http://www.unido.org/en/doc/4460>. Acesso: out 2004

National Pollution Prevention Roundtable. Disponível em: <http://www.p2.org/>

Centro Canadense para Prevenção à Poluição. Disponível em: <http://www.c2p2online.com/>. Acesso: out 2004

Agência de Proteção Ambiental Australiana. **Eco-eficiência e Produção mais Limpa.** Disponível em: <http://www.ea.gov.au/industry/eecp/>. Acesso: nov 2004

ABIVIDRO. Manual de reciclagem de Vidro. São Paulo: Abividro. Disponível em <http://www.abividro.com.br>. Acesso: mar 2005

Agência de Proteção Ambiental dos EUA. Programa de Prevenção à Poluição – P2. Disponível em: <http://www.epa.gov/p2/> . Acesso: ago 2004

European Roundtable on Cleaner Production (ERCP). Disponível em: <http://www.lu.se/IIIEE/ercp/> . Acesso: set 2004

UNEP DTIE. Disponível em: www.uneptie.org/cp/declaration . Acesso: ago 2004

APETS – Acervo : www.apets.com.br . Acesso: mar 2005

ANEXOS

ANEXO 1
COMUNICADO DA PREFEITURA SOBRE DESCARTES DE
ENTULHOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL

ANEXO 2
TRATAMENTOS SUPERFICIAIS

Figura 1 – Metalização com Nitreto de Titânio – altíssima dureza



Figura 2 – Metalização à vácuo – baixo custo, substitui a cromagem de plástico



Figura 3 – Aspersão Térmica – alta proteção a corrosão

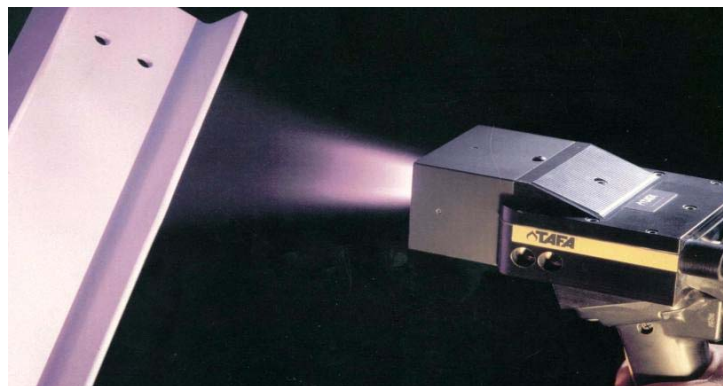


Figura 4 – Anodização dura com PTFE – alta dureza e antiaderente



Figura 5 – Tratamento à vácuo em elastômeros – confere propriedades antiaderentes



Figura 6 – Tratamento Hidrofóbico – confere propriedade anti-condensação



Figura 7 – Zinco Níquel para automotivo – confere alta resistência a corrosão



ANEXO 3
DESCRIÇÃO DO PROCESSO PRODUTIVO

DESCRIÇÃO DO PROCESSO PRODUTIVO

01) Processos de Zinco

Utilizados para fornecer à peça metálica, proteção contra corrosão, avaliado de acordo com tempo em Salt Spray. Apresentam aspectos variados, dependendo dos acabamentos finais, que pode ser cromatizantes azuis, pretos, amarelos ou verdes.

As composições químicas genéricas dos banhos de Zinco são

Banho de zinco ácido – *é composto por água, ácido bórico, cloreto de potássio, cloreto de zinco, anodo de zinco, Zeta Plus Base (mistura de produtos orgânicos) e Zeta Plus Brill (líquido inflamável).*

Banho de zinco alcalino isento de cianeto - *tem como seus componentes básicos a soda cáustica, o anodo de zinco, e os aditivos Oklane 202 e Oklane aditivo L-10. O primeiro desses aditivos caracteriza-se como uma mistura de produtos orgânicos, O segundo caracteriza-se como uma solução de sais orgânicos.*

Banho de zinco ferro - *tem como seus componentes básicos a soda cáustica e os aditivos Performa 269 aditivo Rack, Performa 269 aditivo 10, Performa 269 aditivo RP e Performa 269 aditivo FE. O primeiro desses aditivos caracteriza-se como uma mistura de produtos orgânicos, o segundo caracteriza-se como um aditivo orgânico, o terceiro caracteriza-se como uma solução aquosa orgânica, o quarto caracteriza-se como um aditivo orgânico.*

Banho cromato - *É composto de Finidip 765, caracterizado como um líquido corrosivo contendo cromo, ácido sulfúrico e ácido fosfórico.*

Banho de selante – *É composto por Finidip 475, caracterizado como solução inorgânica ácida contendo ácido fosfórico e ácido crômico.*

DESCRIÇÃO SETORIAL DOS PROCESSOS PRODUTIVOS

Para a implantação do Sistema da Qualidade Total em uma indústria prestadoras de serviços galvanotécnicos, é necessário que se registre as etapas de processo, que não se restringe apenas aos banhos, mas em toda a movimentação das peças dentro da empresa.

Há várias etapas que precisam ser seguidas antes que se dê início ao tratamento propriamente dito.

1. Recebimento das peças

Geralmente as peças provenientes de um processo de estamparia ou usinagem, apresentam rebarbas, oxidações, graxas e óleo em sua superfície. As condições de como as peças devem chegar na indústria de tratamento são estabelecidas no desenvolvimento do projeto, assim como as características estruturais, tipo de liga e demais dados pertinentes à exigência da peça e processo a ser executado. Porém a maioria dos fabricantes não se compromete em retirar estas sujidades ficando a cargo das galvanotécnicas prepará-las antes de processá-las.

a. Registro de Inspeção

As peças ao entrarem na indústria são submetidas a uma inspeção quanto a sua condição física, quando são avaliados o seu grau de sujidade, seu aspecto estrutural e de constituição. Uma vez confirmado que elas estão de acordo com a especificação documental, procede-se a contagem para confirmar se a quantidade de chegada está de acordo com a quantidade especificada na nota de recebimento e encaminha-se para a produção o lote recebido acompanhado de sua respectiva Ordem de Produção.

b. Ordem de Produção (OP)

As Ops são documentos internos de controle de processos, nas quais constam todos os dados do processo a ser executado e as especificações das peças trabalhadas.

Estas informações são geradas na etapa de desenvolvimento da peça dentro da indústria automobilísticas e repassadas aos terceiristas que fabricam, repassam para a galvanotécnica que reproduz o processo especificado (escala piloto) que confirma os dados que serão as diretrizes para rastreabilidade, como forma de controle de processo, garantindo assim a qualidade do produto.

02. Pré-tratamento

A) Primeira etapa: Pré -Tratamento Mecânico ou Limpeza Mecânica

O objetivo desta etapa é tornar a superfície da peça mais lisa e homogênea.

Ocorre o processo de retirada de carepas, dos excessos de rebarbas, restos de tintas e borracha, resíduos de solda, óxidos e asperezas, além de sujidades ou ainda resíduos de solda. Geralmente as peças estampadas não necessitam passar por esta etapa, sendo mais comum às peças usinadas e soldadas.

O tipo de limpeza mecânica a ser usado é especificado em projeto de acordo com o metal e suas ligas e com as condições físicas das peças.

Esmerilhamento (esmeril), Tamboreamento (tambores com pedras), jateamento(microesferas de vidro ou areia), Hidrojateamento e Riscamento (escova de aço).

Citaremos os processos utilizados na empresa em questão.

a. Tamboreamento

Consiste em colocar peças pequenas dentro de um recipiente cilíndrico com pequenos “chips” de porcelana e solução de hidróxido de sódio e mantê-los girando por um determinado tempo para que através do atrito sejam retiradas as asperezas das peças.

b. Jateamento

Na empresa em questão o material abrasivo usado é a microesfera de vidro que é disparada através de ma pistola com pressão sobre as peças metálicas dentro de uma câmara enclausurada.

****Ponto de geração de Resíduo Significativo***

c. Hidrojateamento

Neste processo as peças são submetidas a um jato de água com alta pressão contendo grão de areia bem finos. Este líquido é descartado, porém os grãos de areia são retidos e retornam para a máquina, não sendo descartados.

d. Riscamento

As peças são limpas através da ação de uma escova de aço que é friccionada sobre elas respeitando sempre o sentido dos sulcos e linhas do desenho.

Engancheiramento

Este processo antecede a segunda etapa de limpeza, pois consiste na colocação das peças em gancheiras, ou ganchos, para serem mergulhadas nas soluções seguintes.

B) Segunda etapa: Pré-Tratamento Químico ou Limpeza Química

Nesta etapa as peças engancheiradas são imersas em uma solução alcalina a quente para a retirada de oleosidade, graxas e sujidades aderidas às peças. A limpeza química é feita geralmente em três fases. Algumas peças, dependendo das suas características, excluem uma delas. Aqui abordaremos aquelas que necessitam ser submetidas a todas as fases de limpeza para qualificarem-se para o tratamento de superfície.

a) Desengraxante Químico

O desengraxe ocorre em tanques de aço, com temperatura que varia de 65-85° C, aquecidos por resistências elétricas com timer. Possui alta concentração de hidróxido de sódio (NaOH), por isto extremamente alcalino, e tensoativos. O tempo necessário para que ocorra a limpeza completa, varia de acordo com o grau de sujeira e aderência presente na superfície da peça. Em média em 10-20 minutos a peça fica limpa.

É descartado quando o banho apresenta ineficiência na limpeza e necessita um volume de aditivo superior ao pré estabelecido nos ensaios. Este período está relacionado ao volume de peças tratadas ou aproximadamente um ano.

****Ponto de geração de Resíduo Líquido Significativo***

b) Águas de Lavagem

Após as peças terem sido submetidas ao desengraxe químico, são lavadas em água limpa para a retirada dos resíduos do banho anterior. Esta lavagem tem a função além de limpar a peça, evitar o arraste de um banho para outro.

****Ponto de geração de Resíduo Líquido Significativo***

c) Decapante Ácido

A decapagem é feita com uma solução extremamente ácida, composta por uma mistura de ácido sulfúrico (H_2SO_4) e ácido clorídrico (HCl). Nesta etapa são removidos resíduos de tintas, oxidações e camadas metálicas de deposições anteriores (no caso de retrabalho.)

O tempo necessário para que ocorra a remoção completa das oxidações, varia de acordo com o volume de óxidos e a camada de metal na superfície da peça. Em média em 5-15 minutos a peça fica limpa. O tempo deve ser rigorosamente controlado para que a solução não ataque o dimensional da peça. Após a retirada da solução, as gancheiras são lavadas com água limpa.

É descartado quando o teor de ferro do banho é maior que cem gramas por litro de banho (100g/l). Esse período está relacionado ao volume de peças tratadas ou aproximadamente um ano.

****Ponto de geração de Resíduo Líquido Significativo***

e) Águas de Lavagem

Após as peças terem sido submetidas ao decapante, são lavadas em água limpa para a retirada dos resíduos do banho anterior. Esta lavagem tem a função além de limpar a peça, evitar o arraste de um banho para outro.

****Ponto de geração de Resíduo Líquido Significativo***

f) Desengraxante Eletrolítico

O banho na temperatura ambiente é ligado a um retificador, que submete as peças imersas em uma composição alcalina (NaOH), a passagem de uma corrente elétrica limpando microscopicamente a superfície da peça.. O Hidróxido de Sódio melhora a condutividade elétrica. Com a passagem da corrente elétrica, há a formação de hidrogênio que age de duas maneiras: mecanicamente, provocando uma movimentação no líquido, trazendo novas reservas alcalinas sobre a sujeira resistente, e quimicamente pela formação de nova soda ativa, através da redução catódica.

Didaticamente falando o banho, ligado a um retificador promove um “leve um choque” na peça com a função de liberar os minúsculos resíduos que ainda encontram-se aderidos nos poros do metal. O tempo necessário para que ocorra a limpeza completa, varia de acordo com a quantidade de sujeira resistente presente na superfície da peça. Em média em 3 minutos a peça fica limpa. O período de descarte é de aproximadamente um ano

****Ponto de geração de Resíduo Líquido Significativo***

g) Águas de Lavagem

Após as peças terem sido submetidas ao desengraxe eletrolítico, são lavadas em água limpa para a retirada dos resíduos do banho anterior. Esta lavagem tem a função além de limpar a peça, evitar o arraste de um banho para outro.

****Ponto de geração de Resíduo Líquido Significativo***

03. Processo Eletrolítico

a) Ativação com solução de ácido clorídrico 3%

Esta etapa restringe-se apenas para o processo de Zinco Ácido e serve para conferir a peça uma melhor aderência na cobertura de outro metal.

Ponto de geração de Resíduo Líquido Significativo

b) Banhos de Zinco (Ácido, Alcalino e Ferro)

Banho de Zinco (Ferro, Ácido ou Alcalino Isento de Cianeto)

Nesta etapa ocorre a deposição do metal Zn na superfície das peças metálicas.

As gancheiras são imersas no banho e de acordo com a área da peça e a camada desejada especificadas na OP, o operador programa a amperagem e voltagem no retificador e controla o tempo do processo. As peças recebem camadas que variam de 8 a 25 μ . Acima disto à camada de Zinco começa a ficar quebradiça.

****Ponto de geração de Resíduo Líquido Significativo***

c) Águas de lavagem

Após as peças terem sido submetidas ao banho químico, são lavadas em água limpa para a retirada dos resíduos do banho anterior. Esta lavagem tem a função além de limpar a peça, evitar o arraste de um banho para outro.

****Ponto de geração de Resíduo Líquido Significativo***

d) Ativação Ácida

Antes das peças serem cromatizadas, elas precisam ser ativadas através de uma solução nítrica a 1%.

****Ponto de geração de Resíduo Líquido Significativo***

e) Águas de lavagem

Após as peças terem sido submetidas ativação, elas são lavadas em água limpa em apenas um tanque, montado no sistema estanque.

****Ponto de geração de Resíduo Líquido Significativo***

f) Cromatizante

É o processo usado para fornecer a peça maior resistência à corrosão. As peças imersas em uma solução ácida que contem misturas de ácidos inorgânicos e cromo recebem uma camada formada de um gel cristalino que tem seu tempo de cura em 72 horas. A cura consiste na eliminação das moléculas de águas retidas no gel. Os cromatos podem fornecer a peça coloração preta, amarela, azul ou verde. O tempo de imersão é de aproximadamente 40 segundos em agitação uniforme.

****Ponto de geração de Resíduo Líquido Significativo***

g) Águas de lavagem

Após as peças terem sido submetidas ativação, elas são lavadas em água limpa em apenas um tanque, montado no sistema estanque.

****Ponto de geração de Resíduo Líquido Significativo***

h) Selante

É uma solução ácida também contendo cromo, que permite que os poros da camada aplicada se fechem, conferindo a peça maior proteção e resistência. O tempo de imersão das gancheiras nesta solução é a metade do tempo usado no cromato (20 segundos).

****Ponto de geração de Resíduo Líquido Significativo***

04. Secagem

a) Secagem por Jato de Ar

Após a retirada da solução de selante, as gancheiras são encaminhadas diretamente para secagem. É um procedimento imediato após o selante, onde as peças são submetidas ao jato de ar de maneira enérgica e uniforme para a retirada do líquido sobre a superfície, evitando a formação de mancha.

b) Secagem na Estufa

As peças permanecem numa estufa de temperatura controlada por 5 –10 minutos. Esta temperatura não pode ser superior a 60°C para não prejudicar a camada do cromato que não resiste a temperaturas elevadas.

05. Inspeção Final e expedição de peças

A inspeção final é o procedimento que qualificará a peça para a liberação ao cliente.

a) Inspeção da Qualidade

Com a OP, acompanhando o lote trabalhado, o responsável pelo controle de qualidade final inspeciona a peça, uma a uma, certificando-se que as especificações de processo, camada e aspecto final exigidos no documento foram atendidos.

b) Emissão do Certificado de Qualidade

Com o resultado da Inspeção da Qualidade o Certificado de Qualidade é emitido e assinado pela responsável técnico pelos processos químicos para ser anexado a nota fiscal de retorno das peças.

c) Expedição

As peças são liberadas para entrega devidamente qualificada.

Os registros de produção são arquivados e a OP é anexada a uma via da Nota fiscal emitida e arquivada na empresa.

ANEXO 4
AÇÕES QUANTIFICAÇÕES E GANHOS

ANEXO 5
LAUDO DE LIXIVIAÇÃO E SOLUBILIZAÇÃO

**ANEXO 6
PATENTE**