

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

GRACIELE JULIANA PEREIRA SOLYON

**MINIMIZAÇÃO E REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE
UMA INDÚSTRIA DE TINTAS E IMPRESSÃO DE PAPÉIS DECORATIVOS**

CURITIBA

2009

GRACIELE JULIANA PEREIRA SOLYON

**MINIMIZAÇÃO E REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE
UMA INDÚSTRIA DE TINTAS E IMPRESSÃO DE PAPÉIS DECORATIVOS**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Ambiental, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental da Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Uivald Pawlowsky

Co-orientador: Prof. Vsevolod Mymrime

CURITIBA

2009

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SISTEMA DE BIBLIOTECAS
COORDENAÇÃO DE PROCESSOS TÉCNICOS

Solyon, Graciele Juliana Pereira

Minimização e reaproveitamento de resíduos de uma indústria de tintas e impressão de papéis decorativos / Graciele Juliana Pereira Solyon. – Curitiba, 2009.

143f. : il. algumas color., grafs., tabs.

Inclui bibliografia

Orientador: Prof. Dr. Uivald Pawlowsky

Co-orientador: Prof. Vsevolod Mymrime

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Ambiental.

1. Resíduos industriais. 2. Tintas - Indústria. I. Pawlowsky, Uivald, 1940-. II. Mymrime, Vsevolod. III. Universidade Federal do Paraná. Setor de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental. IV. Título.

CDD 628.4458

Ao meu querido esposo Luiz Solyon Junior.
Aos meus amados pais: Márcio e Nezi.
Aos meus irmãos: Marcelo, Danielle, Danyel e Lis.
À minha sobrinha Gabriela.
Com todo amor e carinho.

AGRADECIMENTOS

Ao Eterno Deus que me deu a vida, a oportunidade deste trabalho, a capacidade de pensar e desenvolver e a fé para prosseguir.

Ao meu querido esposo Luiz Solyon Junior pelo incentivo a cada passo do caminho e seu apoio indispensável e incondicional.

Aos meus amados pais pelo exemplo de suas vidas, pelo apoio e amor incondicional. Por terem me escolhido e investido seu tempo, dedicação e esperança.

Aos meus irmãos: Marcelo, Danielle, Danyel e Lis, pela alegria que sempre temos ao estar juntos. Obrigada, Danyel e Lis, pelo apoio e orientação acadêmica.

A minha sobrinha Gabriela que durante as últimas correções deste trabalho, nos deu a emoção e a alegria do seu nascimento.

Ao Professor Dr. Urivald Pawlowsky, pela orientação durante o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Professor Dr. Vsevolod Mymrine pela co-orientação, disposição e apoio inquestionável no desenvolvimento dos estudos de reaproveitamento.

À Universidade Federal do Paraná, em especial ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, pela oportunidade oferecida.

À empresa *Impress Decor Company*, aos seus colaboradores, em especial ao Sr. Flávio Lufchitz, pelas informações, local para a pesquisa, apoio financeiro e enorme colaboração, o que viabilizou este trabalho.

Ao Prof. Dr. José Manuel e a equipe do Laboratório de Análises de Minerais e Rochas (LAMIR) da Universidade Federal do Paraná (UFPR), pelo auxílio na realização das análises químicas e mineralógicas dos materiais.

Ao Prof. Dr. Haroldo Pontes, pela disponibilidade em usar o Laboratório de Tecnologia Ambiental – LTA para o preparo dos compósitos.

Ao Laboratório da empresa Bosch pela disponibilidade em orientar e auxiliar na execução das análises de microscopia eletrônica.

“Se minimizar resíduos custa dinheiro, com
certeza é mais barato do que nada fazer.”

(Richard Zanetti, 1991)

RESUMO

Esta pesquisa foi realizada na empresa *Impress Decor Company*, unidade de Araucária, fabricante de tintas e impressão de papéis decorativos. Os resíduos industriais foram identificados, quantificados e hierarquizados. Foram identificados e caracterizados sessenta e dois resíduos diferentes, sendo cinco líquidos e o restante sólidos. Esta empresa produz, em média, 38,5 ton de resíduos mensais. Para a hierarquização de resíduos industriais foi aplicada a metodologia do modelo matemático proposto por Cercal (2000). Este modelo analisa os resíduos sob três enfoques: análise de valor, de risco e de facilidade de minimização. Água residuária, descarte de verniz, esgoto sanitário, lixo orgânico, lodo biológico da ETE, lodo físico-químico da ETE e papel crepe com tinta UV estão entre os dez resíduos prioritários em, pelo menos, duas das análises. Alternativas de minimização e reaproveitamento foram propostas para alguns resíduos. Caso essas alternativas fossem adotadas, representaria um ganho anual de R\$ 47.740,00 para a empresa pesquisada. Também foi desenvolvido um novo tipo de material para a construção civil baseado em um resíduo da indústria de tintas – lodo físico-químico de ETE, numa proporção de 50 a 60% em peso, acrescido de cinzas da queima de madeira e resíduos de produção de cal. Todos os componentes foram misturados em proporções equivalentes em peso. Como resultado, foram obtidas as resistências à compressão uniaxial até 7,28MPa na idade de 90 dias, valores de resistência à água entre 2,43 a 3,02MPa, com coeficiente entre 0,75-0,83, valores de absorção de água em torno de 8% e de dilatação dos corpos de prova em torno de 5%. Ensaios de FRX, DRX, ATD, TG, MEV e EDS das estruturas explicam o aumento das propriedades mecânicas pelo surgimento de novas formações amorfas e cristalinas, principalmente de carbonatos. Os materiais desenvolvidos são economicamente atrativos devido ao baixo custo das matérias-primas (resíduos industriais) e aos grandes benefícios adicionais esperados devido à transformação de material passivo, geralmente dispostos em aterro industrial, para material ativo na fabricação de materiais para a construção civil.

Palavras-chaves: Resíduos industriais. Minimização e reaproveitamento. Modelo matemático de priorização. Indústria de tintas e impressão de papéis decorativos. Lodo físico-químico. Materiais para a construção civil.

ABSTRACT

This research work was developed at *Impress Decor Company*, located in Araucária-PR, an industry which produces ink and printing of decorative papers. The industrial wastes were identified, quantified and prioritized. Sixty two different wastes were identified. The amount of waste in this industry is about 38,5t monthly. A methodology to form into a hierarchy of the industrial wastes was applied. The mathematical model used for the prioritization of wastes was developed by Cercal (2000). This model analyses the wastes according to three variables: value, risk and easiness of minimization. Alternatives for minimization and recycling for some residues were proposed. If these alternatives were adopted, would represent a gain of R\$ 47.740,00 annually for the company studied. Also a new type of civil construction material was developed based on ink production waste with physicochemical sludge content until 50 a 60% of weight in combination with wood ash and lime production waste has been mixed. All of the components were mixed in different weight proportions. Uniaxial resistance strength reaches until 7,28MPa at the age of 90 days with water resistance strength between 2,43 and 3,02MPa and coefficient of water resistance between 0,75-0,83, with water absorption value near 8% and samples dilatation near 5%. Compositions and structures studying by XRF, XRD, DTA, TG, SEM and EDS explain the increasing of mechanical properties by synthesis of new compounds, mainly amorphous carbonates and crystalline formations. Newly developed materials are also attractive economically because of industrial wastes utilization as cheap raw materials for production of construction material. High environmental efficiency is obtained with the method based on the fact that it allows utilization of contaminated industrial wastes in wide scale instead of their storage at industrial landfills and reduces raw material extraction for building-sites.

Key-words: Industrial wastes. Minimization and reuse. Mathematical model of prioritization. Ink industry and decorative paper printing. Physical-chemical sludge. Civil construction materials.

LISTA DE FIGURAS

| | | |
|-------------|--|-----|
| FIGURA 2.1 | – CONFLITOS DOS ÂMBITOS ECONÔMICO, SOCIAL E AMBIENTAL | 22 |
| FIGURA 2.2 | – EQUILÍBRIO DINÂMICO DA SUSTENTABILIDADE E SUAS DIMENSÕES..... | 23 |
| FIGURA 2.3 | – HIERARQUIA DE OPÇÕES PARA O GERENCIAMENTO | 27 |
| FIGURA 2.4 | – PROCESSO DE IMPRESSÃO POR ROTOGRAVURA | 41 |
| FIGURA 3.1 | – DIAGRAMA DE PROCESSO NA UNIDADE DE TINTAS .. | 47 |
| FIGURA 3.2 | – DIAGRAMA DA UNIDADE DE IMPRESSÃO DE PAPÉIS..... | 49 |
| FIGURA 3.3 | – FICHA DE QUANTIFICAÇÃO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS | 51 |
| FIGURA 3.4 | – RESUMO DO MODELO DE PRIORIZAÇÃO DE CERCAL (2000)..... | 59 |
| FIGURA 3.5 | – MOLDE DE AÇO PARA CONFECÇÃO DOS CORPOS DE PROVA..... | 62 |
| FIGURA 4.1 | – QUANTIDADE DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS POR SETOR | 74 |
| FIGURA 4.2 | – FARDOS DE PAPÉIS IMPRESSOS | 96 |
| FIGURA 4.3 | – MANTAS DE PAPÉIS IMPRESSOS..... | 97 |
| FIGURA 4.4 | – BOBINAS DE PAPÉIS – SUCATA E PAPEL DE ACERTO | 98 |
| FIGURA 4.5 | – CURVAS DE ATD E TG DO LODO FÍSICO-QUÍMICO..... | 102 |
| FIGURA 4.6 | – MICROGRAFIAS DO LODO FÍSICO-QUÍMICO DE ETE (a) 50X, (b) 500X, (c) E (d) 1000X..... | 103 |
| FIGURA 4.7 | – CURVAS DE ATD E TG DA CAL RESIDUAL..... | 105 |
| FIGURA 4.8 | – MICROGRAFIAS DA CAL RESIDUAL (a) 50X, (b) 200X, (c) 950X E (d) 3000X..... | 106 |
| FIGURA 4.9 | – CURVAS DE ATD E TG DE CINZAS | 108 |
| FIGURA 4.10 | – MICROGRAFIAS DA CINZA (a) 50X, (b) 1500X, (c) 1000X E (d) 5000X..... | 109 |
| FIGURA 4.11 | – MICROANÁLISE QUÍMICA DAS CINZAS..... | 110 |
| FIGURA 4.12 | – CORPOS DE PROVA DA COMPOSIÇÃO 1 | 111 |
| FIGURA 4.13 | – COMPARAÇÃO DOS DIFRATOGRAMAS DA COMPOSIÇÃO 5 DE ACORDO COM O TEMPO DE CURA..... | 113 |

| | |
|--|-----|
| FIGURA 4.14 – MICROGRAFIAS DA AMOSTRA 5 NA IDADE DE 60 DIAS..... | 116 |
| FIGURA 4.15 – COMPARAÇÃO ENTRE CURVAS DE ATD EM DIFERENTES IDADES DE CURA..... | 118 |
| FIGURA 4.16 – COMPARAÇÃO ENTRE CURVAS DE TG EM DIFERENTES IDADES DE CURA..... | 118 |

LISTA DE TABELAS

| | | |
|-------------|--|----|
| TABELA 2.1 | – HIERARQUIA DAS PRÁTICAS DE GERENCIAMENTO | 27 |
| TABELA 2.2 | – PIGMENTOS INORGÂNICOS..... | 37 |
| TABELA 3.1 | – UNIDADES E SETORES INDUSTRIAIS | 44 |
| TABELA 3.2 | – CARACTERÍSTICAS DAS CLASSES DE DISPOSIÇÃO..... | 53 |
| TABELA 3.3 | – PARÂMETROS MATEMÁTICOS DAS CLASSES DE DISPOSIÇÃO..... | 54 |
| TABELA 3.4 | – EQUAÇÕES PARA A ANÁLISE DE VALOR..... | 55 |
| TABELA 3.5 | – ANÁLISE DO RESÍDUO POR VALOR: PARÂMETROS GERAIS | 56 |
| TABELA 3.6 | – ANÁLISE DO RESÍDUO POR RISCOS: PARÂMETROS | 57 |
| TABELA 3.7 | – EQUAÇÕES PARA A ANÁLISE DE RISCO..... | 57 |
| TABELA 3.8 | – PARÂMETROS PARA ANÁLISE POR FACILIDADE DE MINIMIZAÇÃO..... | 58 |
| TABELA 3.9 | – EQUAÇÕES PARA A FACILIDADE DE MINIMIZAÇÃO..... | 59 |
| TABELA 4.1 | – CODIFICAÇÃO E IDENTIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS..... | 68 |
| TABELA 4.2 | – CLASSES E PARÂMETROS ENCONTRADOS NA EMPRESA. | 75 |
| TABELA 4.3 | – VARIÁVEIS PARA CÁLCULO DO VALOR UNITÁRIO DO RESÍDUO NÃO CORRIGIDO..... | 76 |
| TABELA 4.4 | – ANÁLISE DE VALOR: PARÂMETROS MATEMÁTICOS E CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS | 79 |
| TABELA 4.5 | – RESULTADOS DA ANÁLISE POR VALOR..... | 81 |
| TABELA 4.6 | – ANÁLISE POR VALOR: OS DEZ RESÍDUOS PRIORITÁRIOS. | 83 |
| TABELA 4.7 | – RESULTADOS DA ANÁLISE POR RISCO..... | 85 |
| TABELA 4.8 | – ANÁLISE POR RISCO: OS DEZ RESÍDUOS PRIORITÁRIOS. | 86 |
| TABELA 4.9 | – ANÁLISE DE FACILIDADE DE MINIMIZAÇÃO: RESPOSTAS ÀS PERGUNTAS..... | 87 |
| TABELA 4.10 | – RESULTADOS DA ANÁLISE POR FACILIDADE DE MINIMIZAÇÃO..... | 89 |
| TABELA 4.11 | – ANÁLISE POR FACILIDADE DE MINIMIZAÇÃO: OS DEZ RESÍDUOS PRIORITÁRIOS..... | 91 |
| TABELA 4.12 | – RESULTADOS DAS ANÁLISES PARA TODOS OS RESÍDUOS..... | 91 |
| TABELA 4.13 | – COMPARATIVO ENTRE AS ANÁLISES REALIZADAS..... | 94 |

| | |
|--|-----|
| TABELA 4.14 – RESULTADOS FINANCEIROS | 99 |
| TABELA 4.15 – RESULTADOS DA DRX E FRX PARA O LODO FÍSICO-QUÍMICO..... | 101 |
| TABELA 4.16 – INTERPRETAÇÃO DOS PICOS DE ANÁLISE ATD E TG DO LODO FÍSICO-QUÍMICO | 102 |
| TABELA 4.17 – ANÁLISE DA ÁREA GERAL DAS MICROGRAFIAS DO LODO FÍSICO-QUÍMICO..... | 104 |
| TABELA 4.18 – RESULTADOS DA DRX E FRX PARA A CAL | 104 |
| TABELA 4.19 – INTERPRETAÇÃO DE PICOS DE ATD E TG DA CAL RESIDUAL | 105 |
| TABELA 4.20 – RESULTADOS DA DRX E FRX PARA A CINZA | 107 |
| TABELA 4.21 – INTERPRETAÇÃO DOS PICOS DE ANÁLISE ATD E TG DA CINZA..... | 108 |
| TABELA 4.22 – ANÁLISE DA ÁREA GERAL DAS MICROGRAFIAS DA CINZA | 110 |
| TABELA 4.23 – COMPOSIÇÕES DOS CORPOS DE PROVA | 111 |
| TABELA 4.24 – RESULTADOS DOS TESTES DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO | 111 |
| TABELA 4.25 – RESISTÊNCIA À ÁGUA E PERMEABILIDADE NO 28º DIA..... | 112 |
| TABELA 4.26 – COMPARAÇÃO DA DRX ENTRE OS RESULTADOS DA CURA..... | 114 |
| TABELA 4.27 – LEGENDA DA TABELA 4.26..... | 115 |
| TABELA 4.28 – RESULTADOS DA MICROANÁLISE QUÍMICA (EDS) DOS PONTOS DA FIGURA 3 (c)..... | 117 |
| TABELA 4.29 – INTERPRETAÇÃO DOS PICOS DE ATD E TG DURANTE HIDRATAÇÃO E CURA DA AMOSTRA 5 DA TABELA 4.23..... | 119 |
| TABELA 4.30 – INTERPRETAÇÃO DOS PICOS DE ATD E TG NAS IDADES DE 28, 60 E 90 DIAS DE HIDRATAÇÃO | 119 |

LISTA DE SIGLAS

| | |
|--------|---|
| ABETRE | - Associação Brasileira de Empresas de Tratamento de Resíduos |
| ABNT | - Associação Brasileira de Normas Técnicas |
| AP | - Laminado de alta pressão |
| ASTM | - <i>Society for Testing Materials American</i> |
| ATD | - Análise térmica diferencial |
| BP | - Laminado de baixa pressão |
| CETESB | - Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental |
| CONAMA | - Conselho Nacional de Meio Ambiente |
| CST | - Companhia Siderúrgica de Tubarão |
| DRX | - Difractometria de raios X |
| EPA | - <i>Environmental Protection Agency</i> |
| EPI | - Equipamento de proteção individual |
| ETE | - Estação de tratamento de efluentes |
| FF | - <i>Finish Foil</i> |
| FRX | - Fluorescência de raios X |
| IAPAR | - Instituto Agrônomo do Paraná |
| NBR | - Norma Brasileira Regulamentadora |
| pH | - Potencial hidrogeniônico |
| PMR | - Programa de Minimização de Resíduos |
| SEMA | - Secretaria Estadual de Meio ambiente |
| SMR | - Sistema de Minimização de Resíduos |
| TECPAR | - Instituto de Tecnologia do Paraná |
| TG | - Análise termogravimétrica |
| UNEP | - <i>United Nations Environment Programme</i> |

LISTA DE SÍMBOLOS

Variáveis do Modelo Matemático

| | |
|------------------|---|
| W_{Total} | Quantidade total do resíduo |
| p | Número de produtos analisados simultaneamente |
| e | Número de equipamentos onde o resíduo é gerado |
| m | Número de materiais que compõem o resíduo |
| d | Número de destinações finais dadas ao resíduo |
| Π | Classificação do resíduo conforme a periculosidade |
| Ω | Relação do resíduo com o processo |
| $\$^+_i$ | Valor unitário do material genérico “i” |
| $\Delta\%_i$ | Alteração percentual admissível para o valor do material genérico “i” |
| X_{ijk} | Percentual do material genérico “i” na composição do resíduo gerado no equipamento genérico “j”, para o produto genérico “k” |
| Y_{hjk} | Percentual do total de resíduo gerado no equipamento genérico “j”, para o produto genérico “k”, que sofre a disposição genérica “h” |
| Z_{jk} | Percentual do total de resíduo gerado no equipamento genérico “j”, para o produto genérico “k” |
| W_k | Percentual do total do resíduo gerado para o produto genérico “k” |
| $\$^-_{Bhjk}$ | Custo unitário de beneficiamento do resíduo gerado no equipamento genérico “j”, para o produto genérico “k”, que sofre a disposição genérica “h” |
| $\$^-_{Thjk}$ | Custo unitário de transporte do resíduo gerado no equipamento genérico “j”, para o produto genérico “k”, que sofre a disposição genérica “h” |
| $\$^-_{TDhjk}$ | Custo unitário de tratamento e disposição do resíduo gerado no equipamento genérico “j”, para o produto genérico “k”, que sofre a disposição genérica “h” |
| $\$^-_{GPhjk}$ | Custo unitário de geração e permanência do resíduo gerado no equipamento genérico “j”, para o produto genérico “k”, que sofre a disposição genérica “h” |
| $\$^+_{Rhjk}$ | Retorno obtido por destinar o resíduo gerado no equipamento genérico “j”, para o produto genérico “k”, à disposição genérica “h” |
| $D^{S/N}_{\$+}$ | Calcula $\$^+$? |
| $D^{S/N}_{\$-B}$ | Calcula $\$^-_B$? |
| $D^{S/N}_{\$-T}$ | Calcula $\$^-_T$? |
| $D^{S/N}_{\$-}$ | Calcula $\$^-_{TD}$? |
| TD | |
| $D^{S/N}_{\$-}$ | Calcula $\$^-_{GP}$? |
| GP | |
| $D^{S/N}_{\$+R}$ | Calcula $\$^+_R$? |
| $\$^+$ | Valor unitário do resíduo, ponderado entre todos os equipamentos onde o mesmo é gerado, e para todos os produtos considerados para a análise |

| | |
|------------------|---|
| $\Delta\$\%$ | Alteração percentual admissível para o valor unitário do resíduo, ponderada entre todos os equipamentos onde o mesmo é gerado, e para todos os produtos considerados para a análise. |
| $\$\text{B}$ | Custo unitário de beneficiamento do resíduo ponderado conforme as disposições dadas ao mesmo, entre todos os equipamentos onde é gerado, e para todos os produtos considerados para a análise. |
| $\$\text{T}$ | Custo unitário de transporte do resíduo ponderado conforme as disposições dadas ao mesmo, entre todos os equipamentos onde é gerado, e para todos os produtos considerados para a análise. |
| $\$\text{TD}$ | Custo unitário de tratamento e disposição do resíduo ponderado conforme as disposições dadas ao mesmo, entre todos os equipamentos onde é gerado, e para todos os produtos considerados para a análise. |
| $\$\text{GP}$ | Custo unitário de geração e permanência do resíduo ponderado conforme as disposições dadas ao mesmo, entre todos os equipamentos onde é gerado, e para todos os produtos considerados para a análise. |
| $\$\text{R}^+$ | Retorno obtido ponderado conforme as disposições do resíduo, entre todos os equipamentos onde é gerado, e para todos os produtos considerados para a análise |
| $\$\text{'}$ | Valor unitário do resíduo não corrigido |
| ξ | Índice de priorização hierárquica de minimização de resíduos (IPHMR) |
| ξB | Base do IPHMR, ponderada entre todos os equipamentos onde o resíduo é gerado e para todos os produtos considerados para análise |
| ξBh | Base do IPHMR da classe a que pertence a disposição genérica "h" |
| K_{jk} | Fator de constância do resíduo gerado no equipamento genérico "j", para o produto genérico "k" |
| K | Constância do resíduo ponderada entre todos os equipamentos onde o mesmo é gerado, e para todos os produtos considerados para a análise |
| δ^+ | Fator de correção para valores positivos do resíduo |
| δ^- | Fator de correção para valores negativos do resíduo |
| $\$\text{'}$ | Valor unitário do resíduo corrigido |
| $\$\text{Total}$ | Valor total do resíduo corrigido |
| Q | Número de perguntas para análise por riscos cuja resposta é "Em potencial" |
| Q_{jk} | Peso da pergunta da análise por riscos no equipamento genérico "j", para o produto genérico "k" |
| R | Risco global do resíduo |
| f | Número de perguntas da análise por facilidade de minimização |
| F_{jk} | Peso da pergunta da análise por facilidade de minimização do resíduo no equipamento genérico "j", para o produto genérico "k" |
| CM_{jk} | Custo para minimizar a geração do resíduo proveniente do equipamento genérico "j", para o produto genérico "k" |
| F | Facilidade de Minimização global do Resíduo |

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 17 |
| 1.1 OBJETIVO GERAL | 19 |
| 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 19 |
| 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 21 |
| 2.1 DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL..... | 21 |
| 2.2 GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS..... | 24 |
| 2.3 MINIMIZAÇÃO DE RESÍDUOS..... | 26 |
| 2.3.1 Benefícios da minimização..... | 28 |
| 2.3.2 Metodologias de minimização..... | 29 |
| 2.3.3 Barreiras na implantação de um PMR..... | 31 |
| 2.4 REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS..... | 32 |
| 2.5 TINTAS | 34 |
| 2.5.1 Resinas | 35 |
| 2.5.2 Pigmentos | 36 |
| 2.5.3 Aditivos..... | 38 |
| 2.5.4 Solventes..... | 39 |
| 2.5.5. Cura por radiação UV..... | 39 |
| 2.6 PAPEL DECORATIVO..... | 40 |
| 3 MATERIAIS E MÉTODOS | 44 |
| 3.1 DESCRIÇÃO DA EMPRESA E DO PROCESSO PRODUTIVO..... | 44 |
| 3.1.1 Unidade de tintas..... | 45 |
| 3.1.2 Unidade de impressão de papel..... | 47 |
| 3.2 METODOLOGIA..... | 50 |
| 3.2.1 Metodologia para identificação e quantificação dos resíduos..... | 50 |
| 3.2.2 Metodologia para a priorização de resíduos..... | 52 |
| 3.2.2.1 Análise do resíduo por valor | 53 |
| 3.2.2.2 Análise do resíduo por risco..... | 56 |
| 3.2.2.3 Análise do resíduo por facilidade de minimização..... | 57 |
| 3.2.3 Metodologia para a caracterização e reaproveitamento dos resíduos..... | 59 |
| 3.2.3.1 Análise de absorção de água | 60 |
| 3.2.3.2 Análise de resistência à compressão..... | 61 |
| 3.2.3.3 Análise de difratometria de raios X – DRX | 62 |
| 3.2.3.4 Análise de fluorescência de raios X semi quantitativa – FRX | 63 |
| 3.2.3.5 Análise de microscopia eletrônica de varredura – MEV | 64 |
| 3.2.3.6 Análise térmica gravimétrica – TG | 65 |
| 3.2.3.7 Análise térmica diferencial – ATD | 65 |
| 4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS | 66 |
| 4.1 LEVANTAMENTO E QUANTIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS..... | 66 |
| 4.2 HIERARQUIZAÇÃO DOS RESÍDUOS INDUSTRIAIS..... | 75 |
| 4.2.1 Análise dos resíduos por valor..... | 75 |
| 4.2.2 Análise dos resíduos por risco..... | 84 |
| 4.2.3 Análise dos resíduos por facilidade de minimização..... | 87 |
| 4.2.4 Análise global dos resíduos | 93 |
| 4.3 ALTERNATIVAS DE MINIMIZAÇÃO DE RESÍDUOS..... | 95 |
| 4.4 REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS..... | 100 |
| 4.4.1 Caracterização das matérias-primas | 100 |

| | |
|--|------------|
| 4.4.1.1 Lodo físico-químico de ETE | 101 |
| 4.4.1.2 Resíduos da produção de cal | 104 |
| 4.4.1.3 Cinzas da queima de madeira..... | 107 |
| 4.4.2 Caracterização dos corpos de prova..... | 110 |
| 4.4.2.1 Resistência à compressão | 111 |
| 4.4.2.2 Absorção de água | 112 |
| 4.4.2.3 Análises de raios X..... | 113 |
| 4.4.2.4 Microscopia eletrônica de varredura com microanálise química | 116 |
| 4.4.2.5 Análises térmicas | 117 |
| CONCLUSÕES..... | 121 |
| SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS | 123 |
| REFERÊNCIAS | 124 |
| ANEXOS | 132 |

1 INTRODUÇÃO

A expansão industrial e tecnológica que ocorreu após a Segunda Guerra Mundial trouxe conseqüências irreversíveis aos processos produtivos. O controle de qualidade, por meio de verificações nas características finais dos produtos, foi um avanço para a época. Posteriormente, a percepção de que um defeito era decorrente das etapas intermediárias de produção reformulou o conceito de qualidade. O mesmo ocorreu com o controle ambiental das empresas, que antes se preocupavam apenas em tratar os efluentes ou resíduos provenientes do processo produtivo. Atualmente, há uma predisposição em analisar as origens e os fatores que influenciam a produção desses resíduos. Com a implementação de ações específicas é possível reduzi-los ou até eliminá-los.

Melhorias no desempenho ambiental de uma indústria trazem também benefícios econômicos aumentando a produtividade, reduzindo a quantidade de insumos, reduzindo o desperdício e aumentando a reciclagem de materiais. A aplicação dos conceitos de redução, reutilização e reciclagem podem resultar em economia financeira real para qualquer organização. A redução de resíduos e do consumo de energia proporciona benefícios de ordem financeira na indústria, uma vez que, segundo Gilbert (1995), a coleta e a destinação final dos resíduos são operações muito onerosas. Quanto menos as empresas tiverem a remover, menores serão os custos envolvidos.

Os resíduos sólidos têm sido um dos maiores responsáveis pela degradação ambiental principalmente pelo grande volume desses resíduos (MATOS; SCHALCH, 2000). Minimizá-los deve se tornar uma prioridade, tendo em vista o desenvolvimento consciente e sustentável. As indústrias de papel e celulose contribuem significativamente para a produção de resíduos, assim como as indústrias de papel decorativo. As primeiras, principalmente no que se refere aos resíduos líquidos, e as últimas, aos sólidos, devido a sua característica de produção no acerto de cor. Normalmente, este ajuste é um processo lento e minucioso, o que gera um volume excessivo de papel impresso fora de especificação.

Além do rejeito das máquinas de impressão, são considerados como resíduos as embalagens do recebimento de matérias-primas e expedição de material acabado, os efluentes líquidos, os lodos físico-químico e biológico, entre outros que,

quando minimizados, diminuem o custo de tratamento e disposição final, como aquele da própria aquisição de matérias-primas.

Um Programa de Minimização de Resíduos – PMR pode ser viabilizado com o objetivo de encontrar um ponto ótimo de produtividade, economia de energia e matérias-primas e aproveitamento de resíduos (LEITE; PAWLOWSKY, 2002). Para que a implantação de um PMR seja bem sucedida algumas etapas devem ser observadas. Entre elas está a priorização de resíduos, a qual pode ser auxiliada por modelos matemáticos, os quais auxiliam na tomada de decisão de um processo complicado, envolvendo vários critérios de decisão, alguns quantificáveis e outros dificilmente quantificáveis. Além disso, direcionam a pesquisa de acordo com a necessidade, dando foco e agilidade na busca pelos resultados.

Segundo Leite (2003), um trabalho de minimização de resíduos associado à utilização de um modelo matemático tem grande utilidade para aperfeiçoar o gerenciamento de resíduos industriais, pois apresenta uma metodologia completa e detalhada de priorização e minimização. De acordo com Cendofanti (2005), o modelo matemático de priorização de resíduos de Cercal (2000) apresenta-se como uma ferramenta adequada para o levantamento, caracterização e hierarquização dos resíduos, além de se mostrar importante para auxiliar na tomada de decisão para o gerenciamento de resíduos de uma empresa. Com a implantação de um programa de minimização de resíduos, matérias primas são mais bem aproveitadas e poluentes são gerados em menor quantidade ou até eliminados, enfatizando assim a importância do desenvolvimento da empresa de maneira sustentável.

A continuidade de uma empresa está em grande parte condicionada ao seu lucro financeiro, o qual depende de diversos fatores, entre os quais: (i) o custo das matérias-primas; (ii) o valor do seu produto no mercado; (iii) o custo do transporte de matérias-primas e de resíduos; (iv) formas de reutilização e reaproveitamento de resíduos; (v) atender a legislação e às normas ambientais, contribuindo na relação com fornecedores e clientes.

A reciclagem de materiais para o reaproveitamento, a reutilização ou simplesmente o uso, podem representar uma alternativa efetiva de redução de custo no que se refere ao tratamento e à disposição de resíduos. Entretanto, deve ser enfatizado que a eliminação e a minimização do resíduo na fonte são as opções preferenciais num gerenciamento de resíduos, e a reciclagem deve ser considerada somente se as demais opções estiverem se exaurindo.

O reaproveitamento ou a reciclagem de resíduos sólidos tem como objetivo a utilização completa das matérias-primas e a minimização do problema da poluição e do tratamento dos despejos (PAWLOWSKY, 1983 e 2002). O reaproveitamento de materiais do lixo municipal não tem sido suficiente, pois a cada ano, milhares de toneladas de materiais potencialmente recicláveis têm sido enviadas para a incineração ou simplesmente jogadas em “lixões”, ou na melhor hipótese em aterros sanitários (PAVONI; HERR; HAGERTY, 1975).

Atualmente, existem diversas soluções para o reaproveitamento de resíduos, sejam eles para resíduos industriais ou domésticos. Por exemplo, segundo Borgo (2005), reaproveitar resíduos sólidos industriais para a confecção de produtos para a construção civil é uma opção que tem sido estudada por muitos pesquisadores no Brasil e no mundo.

Este estudo apresenta caráter facilitador no gerenciamento de resíduos especialmente para indicar à empresa ações direcionadas, as quais, após implantadas, poderão diminuir ou até impedir conseqüências ambientais, além de diminuir custos sem afetar a qualidade final do produto.

1.1 OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem como objetivo geral realizar um estudo sobre o gerenciamento de resíduos, contemplando a aplicação de uma sistemática para a minimização e posterior proposta de reaproveitamento de resíduos provenientes do processo produtivo de uma fábrica de tintas e impressão de papéis decorativos.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Foram definidos como objetivos específicos:

- conhecer detalhadamente o processo produtivo de uma indústria de tintas e impressão de papéis decorativos;
- indicar os pontos de geração de resíduos;

- caracterizar os resíduos produzidos;
- priorizar os resíduos utilizando o método matemático de Cercal (2000);
- identificar possíveis formas de minimização e reaproveitamento de resíduos prioritários;
- apresentar sugestões de minimização e reaproveitamento à empresa;
- identificar a melhor combinação para o reaproveitamento de determinados resíduos.

Este texto está organizado em cinco capítulos. O capítulo 1 se dedica à visão geral do problema, ao objetivo geral e aos específicos. O capítulo 2 contempla a revisão bibliográfica referente ao desenvolvimento sustentável, gerenciamento, minimização e reaproveitamento de resíduos, tintas e papéis decorativos. O capítulo 3 é dedicado à descrição da empresa, do processo produtivo e das metodologias aplicadas. O capítulo 4 apresenta os resultados e as discussões, seguido pelas considerações finais deste estudo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

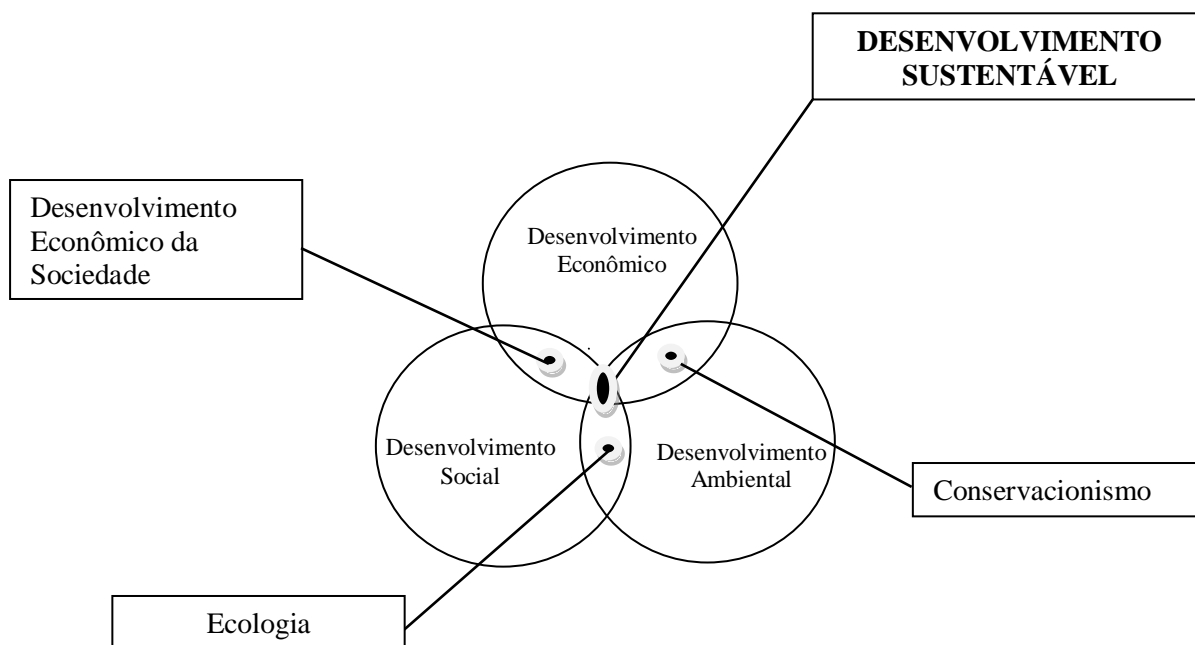
2.1 DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

O conceito de desenvolvimento sustentável surgiu em 1987 no relatório *Our common future* (Nosso Futuro Comum), também intitulado Relatório da *Brudtland Commission*, encomendado pelas Nações Unidas à Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (CAPRA, 2003; SEIFFERT; LOCH 2005). Este relatório abordou o desenvolvimento sustentável como aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de atenderem às suas próprias necessidades.

Apesar de este conceito ser amplamente utilizado atualmente, não existe uma única visão. Para alguns autores, o desenvolvimento sustentável é obter o crescimento econômico contínuo por meio de um manejo mais racional dos recursos naturais e da utilização de tecnologias mais eficientes e menos poluentes. Entretanto, para outros, é antes de tudo um projeto social e político destinado a erradicar a pobreza, elevar a qualidade de vida e satisfazer às necessidades básicas da humanidade, oferecendo assim os princípios e as orientações para o desenvolvimento harmônico da sociedade, considerando a assimilação e a transformação sustentável dos recursos ambientais (DIAS, 2006). Capra (1982), em sua obra *O ponto de mutação*, cita o desenvolvimento sustentável na busca do equilíbrio e na perpetuação do futuro.

Os três eixos fundamentais do conceito de sustentabilidade são definidos como: o desenvolvimento econômico, o ambiental e o social (SEIFFERT, 2007). A Figura 2.1 ilustra a essência de cada um desses aspectos e os conflitos inerentes a eles. O desenvolvimento econômico da comunidade pode ser indicado pela interface entre o desenvolvimento econômico e o social, caracterizado por: (i) sustentar o crescimento econômico; (ii) maximizar ganhos privados; (iii) ampliar mercados; e (iv) externalizar custos. Em contrapartida, o conservacionismo pela interface entre o desenvolvimento econômico e o ambiental, sumarizado por: (i) respeito à capacidade de suporte dos ecossistemas; e (ii) conservar e reciclar produto para reduzir desperdício. Finalmente, a ecologia profunda na interface entre o

desenvolvimento ambiental e o social, detalhado como: (i) maior equidade; (ii) maior auto-suficiência local; (iii) usar tecnologia apropriada; (iv) satisfazer as necessidades humanas básicas; e (v) garantir a participação e a transparência (SEIFFERT, 2007).



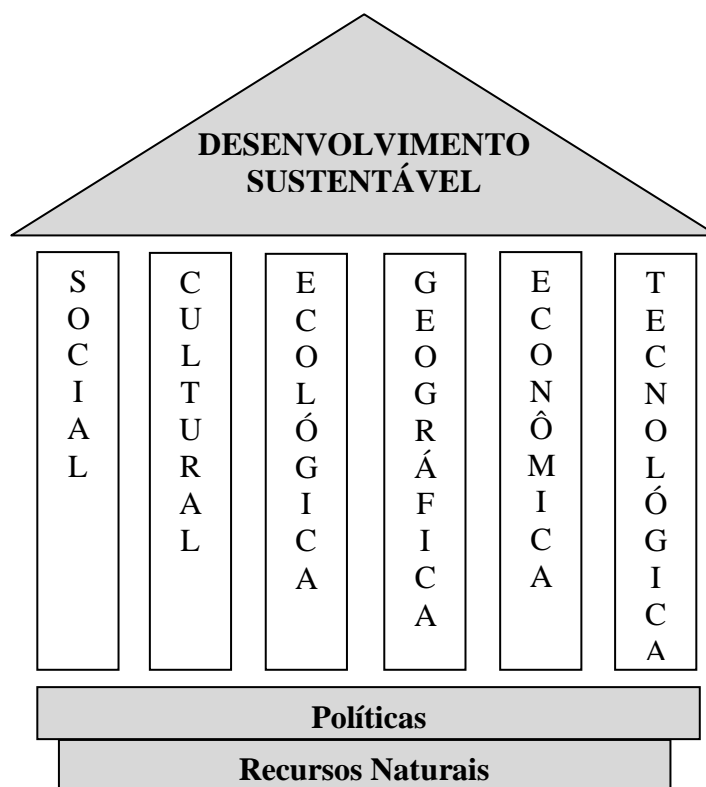
FONTE: Adaptado de Seiffert (2007).

FIGURA 2.1 – CONFLITOS DOS ÂMBITOS ECONÔMICO, SOCIAL E AMBIENTAL

Entretanto, em 1993, Sachs amadureceu o conceito descrevendo que o desenvolvimento sustentável só poderá ser alcançado por meio de um equilíbrio entre cinco dimensões ou pressupostos básicos: ecológica, social, econômica, cultural e geográfica. O pressuposto cultural baseado no respeito às especificidades culturais e a importância da conscientização ambiental via educação básica. Finalmente, o pressuposto geográfico ou espacial, tem como foco a configuração rural-urbana equilibrada. Este conceito possui uma base teórica bastante consistente (SEIFFERT, 2007).

Seiffert (2007), acrescenta outra dimensão ao conceito de sustentabilidade: a dimensão tecnológica, a qual pode contribuir para o aumento da insustentabilidade de determinada sociedade, visto que os processos de produção têm sua sustentabilidade comprometida na medida em que são escolhidas alternativas tecnológicas sem considerar sua adaptabilidade ao contexto que irão ser

implantadas. A Figura 2.2 mostra o desenvolvimento sustentável equilibrado nas seis dimensões descritas acima, indicando a contribuição de Sachs (1993) e de Seiffert (2007).



FONTE: Seiffert (2007)

FIGURA 2.2 – EQUILÍBRIO DINÂMICO DA SUSTENTABILIDADE E SUAS DIMENSÕES

No contexto industrial, a minimização de resíduos é um importante elemento para o Desenvolvimento Sustentável, pois se preocupa com a proteção ambiental e com a redução de custos de produção, pela redução de resíduos na fonte de geração e também pela reciclagem (CRITTENDEN; KOLACZKOWSKI, 1995). Embora o conceito de desenvolvimento sustentável já seja difundido, o aproveitamento dos recursos naturais continua aquém do desejável no processo de produção, gerando resíduos em excesso. Desta forma, este estudo se enquadra na necessidade de observar o processo de produção industrial de papel decorativo e identificar as fontes de geração de resíduos, auxiliando na minimização e posterior reciclagem de alguns deles.

2.2 GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS

Segundo Silva, Ricelly, Maia, Nahon (2003), resíduos significam matérias-primas que foram desperdiçadas no processo ou nas etapas de produção acarretando em prejuízos econômicos, além de muitas vezes conseqüências irreparáveis ao meio ambiente.

Já para Furtado (1998) resíduo é todo e qualquer tipo de material que não represente o produto final do sistema de manufatura industrial. O termo ainda engloba a energia entrópica, perdas de calor e outras ineficiências termodinâmicas.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT na NBR 10.004 (ABNT, 2004) define resíduos sólidos como:

“resíduos no estado sólido ou 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 inviáveis seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam, para isto, soluções técnicas e economicamente inviáveis, em face à melhor tecnologia disponível.”

A partir desta definição, foi elaborada a seguinte classificação para os resíduos: (a) Classe I – perigosos: aqueles que apresentam periculosidade, inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade; (b) Classe II A – não inertes: podem ter propriedades, como biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água; (c) Classe II B – inertes: são quaisquer resíduos que, quando amostrados de forma representativa, e submetidos a um contato estático ou dinâmico com água destilada ou deionizada, à temperatura ambiente, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se os padrões de aspecto, cor, turbidez e sabor (NBR 10004:2004).

Diante desses conceitos, surge a preocupação com o gerenciamento desses resíduos. Um importante documento criado a partir da ECO 92, é a Agenda 21 (2002), onde se destaca a necessidade de mudança nos padrões não sustentáveis de produção e consumo, como o gerenciamento de resíduos sólidos concentrados em quatro áreas: (a) estímulo a uma maior eficiência no uso da energia e dos recursos; (b) reduzir ao mínimo a geração; (c) aumentar ao máximo a reutilização e

a reciclagem; (d) providenciar depósitos e tratamentos ambientalmente corretos; e (e) ampliar os serviços que se ocupem dos resíduos.

Segundo Furtado (2005) “a maior parte dos resíduos industriais gerados no Brasil ainda continua a ser destinada de forma incorreta, misturada em lixões domésticos, sejam eles municipais ou clandestinos. Segundo a Associação Brasileira de Empresas de Tratamento de Resíduos (ABETRE), mais de 70% do lixo industrial acaba em lugares inapropriados”, indicando o descaso com o gerenciamento de resíduos sólidos no Brasil.

Crittenden e Kolaczowski (1995) indicam que os resíduos resultantes dos processos produtivos surgem devido às falhas de sistema ou operacionais, matérias-primas inadequadas, falta de conhecimento técnico ou de comprometimento dos operadores, dentre outros.

Para as indústrias solucionarem esses problemas relacionados aos resíduos gerados são necessárias algumas técnicas que alavancam o gerenciamento desses resíduos. Pode-se partir de ferramentas mais simplificadas como um inventário de resíduos, o qual contempla a identificação, a quantificação, a classificação, a destinação final e as tecnologias que visam à redução da geração desses resíduos, sua reciclagem e seu aproveitamento (LORA, 2002) até a implantação de um sistema de gestão ambiental envolvendo todo o sistema operacional, desde o controle dos processos de compra, incluindo os próprios inventários de resíduos e controle de material e estoque, manutenção e outros (MATOS; SCHALCH, 2000).

Atualmente as ferramentas mais citadas para o gerenciamento de resíduos são a Prevenção à Poluição e Produção mais limpa. Segundo a CETESB (2002), “Prevenção a Poluição” refere-se a qualquer prática, processo, técnica e tecnologia que visem à redução ou à eliminação em termos de volume, concentração, toxicidade dos poluentes na fonte geradora. Inclui também modificações nos equipamentos, processos ou procedimentos, reformulação ou replanejamento de produtos, substituição de matérias-primas, eliminação de substâncias tóxicas, melhorias nos gerenciamentos administrativos e técnicos da empresa e otimização do uso das matérias-primas, energia, água ou outros recursos.

O conceito de “Produção mais limpa” desenvolvido pelo Centro Nacional de Tecnologias Limpas – SENAI-RS (2003) “é a aplicação de uma estratégia técnica, econômica e ambiental integrada aos processos e produtos, a fim de aumentar a eficiência no uso de matérias-primas, água e energia, por meio da não geração,

minimização ou reciclagem dos resíduos e emissões geradas, com benefícios ambientais, econômicos e na saúde ocupacional” (SENAI-RS, 2003).

Segundo a UNEP (2006), “Produção mais limpa” é uma aplicação contínua de uma estratégia integrada de prevenção ambiental nos processos, produtos e serviços para aumentar a eficiência global e reduzir os riscos ao ser humano e ao meio ambiente. Em essência, aplicar uma produção mais limpa protege o meio ambiente, o consumidor e o trabalhador enquanto melhora a eficiência industrial, o lucro e a competitividade.

Prevenção à Poluição e Produção mais limpa são termos bastante similares, pois ambos têm como prioridade a não geração do resíduo, para posteriormente a minimização seguida do reaproveitamento. Segundo Hold, Phillips e Bates (2000) e El-Fadel, Zeintai, El-Jisr e Jamali (2001), no gerenciamento de resíduos a minimização, em particular, é vista como uma técnica essencial para uma economia competitiva sustentável.

2.3 MINIMIZAÇÃO DE RESÍDUOS

A minimização de resíduos foi definida pela Agência de Proteção Ambiental Norte-Americana (*Environmental Protection Agency – EPA*) como “toda ação tomada para reduzir a quantidade e/ou toxicidade dos resíduos que requerem disposição final” (EPA, 1988).

Para Crittenden e Kolaczowski (1995), a minimização de resíduos envolve qualquer técnica, processo ou atividade que evite, elimine ou reduza a quantidade de resíduo gerada na fonte, normalmente dentro dos limites da unidade de produção, ou permita o reuso ou a reciclagem dos resíduos, diminuindo os custos de tratamento e protegendo o meio ambiente.

Para UNEP (2000), minimizar resíduos é o resultado da combinação da conservação de matérias-primas, água e energia, da eliminação de materiais tóxicos e perigosos e da redução da concentração e/ou toxicidade das emissões, sejam líquidas, sólidas ou atmosféricas do processo produtivo.

A hierarquia de opções para o gerenciamento de resíduos estabelecida pela Resolução Oficial da União Européia (EPA, 1988; CRITTENDEN; KOLACZKOWSKI, 1995) está representada na Figura 2.3.



FONTE: Crittenden e Kolaczkowski (1995)

FIGURA 2.3 – HIERARQUIA DE OPÇÕES PARA O GERENCIAMENTO

O Guia de Boas Práticas (GREENWOOD, 2003), desenvolvido no Reino Unido, apresenta a mesma hierarquia de minimização de resíduos composta por etapas de não-geração, redução, reuso, reciclagem e disposição final. Esta hierarquia indica que a prevenção ou a não geração é a melhor opção, mas quando não for possível, atua-se na minimização ou redução e em seguida na reciclagem ou reaproveitamento, para somente depois tratar e dispor. Para Crittenden e Kolaczkowski (1995), as indústrias deveriam se comprometer com as três primeiras opções ao invés de produzir o resíduo e depois desenvolver um tratamento extensivo ou dispor de forma onerosa. Baseado no critério de prevenção à poluição, Crittenden e Kolaczkowski (1995) estabeleceram uma hierarquia das práticas de gerenciamento de resíduos, como descrito na Tabela 2.1.

TABELA 2.1 – HIERARQUIA DAS PRÁTICAS DE GERENCIAMENTO

| Práticas de Gerenciamento | Características |
|----------------------------------|--|
| Eliminação | Completa eliminação do resíduo. |
| Redução na fonte | Evitar, reduzir ou eliminar o resíduo, geralmente dentro de uma unidade produtiva, promove mudanças nos processos industriais ou procedimentos. |
| Reciclagem | O uso, reuso ou reciclagem na função original ou outro propósito como matéria-prima, material recuperado ou produção de energia. |
| Tratamento | A destruição, desintoxicação, neutralização ou a transformação em resíduos menos poluentes. |
| Disposição | A descarga de resíduos na atmosfera, na água ou no solo de maneira apropriada ou controlada para torná-los menos poluentes. Uma disposição correta no solo pode envolver a redução no volume, encapsulamento, contenção de lixiviação e técnicas de monitoramento. |

FONTE: Crittenden e Kolaczkowski (1995). Tradução livre

Greenwood (2003) define que um plano de minimização pode ser permeado pela análise do desperdício e das oportunidades de minimização, execução, monitoramento e modificação do projeto, exigências legais como proteção ambiental, gerenciamento de resíduos, controle de ruídos, gerenciamento da água, conservação natural, poluição, avaliação do impacto ambiental, sistema de gerência ambiental, legislação ambiental e, por último, estudos de caso.

2.3.1 Benefícios da minimização

Diversos são os benefícios da implantação de um sistema de minimização de resíduos. Pode-se incluir o cumprimento da legislação vigente que é considerada como de fundamental importância (HOLT *et al.*, 2000; MATOS; SCHALCH, 2000).

Crittenden e Kolaczowski (1995) citado por Cendofanti (2005) destacam os seguintes benefícios da minimização de resíduos:

- Redução de custos de monitoramento, controle, tratamento e gerenciamento de resíduos;
- Redução de custos administrativos relacionados ao gerenciamento de resíduos;
- Redução de custos de tratamento, estocagem, transporte e disposição de resíduos;
- Redução do consumo de matérias-primas, insumos e utilidades;
- Redução de riscos de saúde e segurança dos funcionários relacionados a resíduos perigosos;
- Redução do risco ambiental;
- Maior facilidade na obtenção de licenças e financiamentos;
- Melhoria na eficiência e rentabilidade do processo; e
- Melhoria da imagem pública da empresa.

Em 2001, Ilomaki e Melanen realizaram uma pesquisa na implantação de um PMR em quatorze empresas de pequeno e médio porte. Como benefícios as empresas obtiveram: (i) melhor gerenciamento de seus resíduos; (ii) melhoria na imagem pública; e (iii) aumento de eficiência de processos, seja pelo uso de tecnologias mais modernas ou pela aplicação de boas práticas operacionais.

2.3.2 Metodologias de minimização

Várias são as metodologias utilizadas para a minimização de resíduos em vista da flexibilidade e facilidade de adaptação a qualquer empresa. A metodologia proposta pela EPA (1988) está dividida em cinco etapas: (i) planejamento; (ii) avaliação; (iii) análise de alternativas; (iv) implementação do projeto; e (v) avaliação do sistema.

A metodologia de implantação de um Sistema de Minimização de Resíduos (SMR) de Crittenden e Kolaczowski (1995) pode ser resumida em sete fases:

- Definição da política ambiental da empresa e de uma estratégia para alcançá-la por meio da implantação do SMR;
- Comprometimento da direção em conjunto com a definição de objetivos, metas, cronogramas e equipe de avaliação;
- Levantamento e organização de dados, identificação dos aspectos e impactos significativos relacionados a geração de resíduos e revisão das informações com vistorias na planta industrial;
- Estabelecimento de uma hierarquia preliminar de opções;
- Análise da viabilidade técnica e econômica;
- Implementação, revisão e auditoria dos projetos de minimização de resíduos selecionados como prioritários;
- Avaliação do processo, redefinição das metas e tratamento dos projetos de menor prioridade.

Para Matos e Schalch (2000) e para Wei e Weber (1996) a metodologia de minimização de resíduos envolve as seguintes etapas: (i) planejamento – definição dos objetivos e metas; (ii) desenvolvimento – levantamento de dados e indicação das alternativas de minimização; (iii) elaboração de considerações ambientais, técnicas e econômicas; e (iv) sugestões de alternativas de minimização.

A metodologia proposta por Leite e Pawlowsky (2002) adotou um Programa de Minimização de Resíduos (PMR) composto por seis etapas, sendo elas:

- Planejamento – definição de objetivos e metas com o envolvimento e a sensibilização de todos os funcionários da empresa;
- Levantamento de dados – estratégia de investigação para a identificação do problema, conhecendo-se o fluxograma do processo, as matérias-

primas, os insumos consumidos e os produtos fabricados;

- Priorização de resíduos – considerando a classificação do material, custos econômicos relacionados aos mesmos, a unidade funcional de geração, Nesta etapa Mellor *et al.*, (2002) propõem o uso de modelos matemáticos;
- Elaboração de medidas de minimização de resíduos – medidas gerais, mudanças no processo industrial e a utilização de processos de reaproveitamento;
- Aplicação de medidas de minimização – a partir das alternativas existentes para a minimização dos resíduos e escolher aquelas que apresentem uma maior vantagem ambiental;
- Monitoramento do PMR – avaliação da efetividade das ações tomadas e busca da melhoria contínua do processo, observando sempre as novas possibilidades de minimização.

Schiannetz (2000) orienta que na etapa de levantamento de dados é muito importante uma exatidão nos dados, mas quando bem sustentadas podem ser usadas estimativas.

Segundo Pawlowsky (2002), além de metodologias bem elaboradas e complexas para minimização de resíduos, podem ser implantados procedimentos de boas práticas operacionais obtendo-se bons resultados. Alguns exemplos de boas práticas:

- Aumentar a reciclagem de água nos sistemas de trocas térmicas;
- Eliminar vazamentos e melhorar a manutenção;
- Eliminar resfriamento por contato direto para vapores, substituindo por trocadores de contato indireto;
- Especificar e publicar os procedimentos de boas práticas;
- Fazer monitoramento automático;
- Treinar pessoal em minimização de resíduos;
- Ter auditorias periódicas de compra de materiais;
- Ter programas de manutenção preventiva;
- Ter procedimentos técnicos que assegurem a qualidade das matérias-primas e produtos;
- Correlacionar a geração de resíduos com a produção;
- Segregar resíduos, principalmente os perigosos, para evitar contaminação cruzada;

- Coletar e separar resíduos nas unidades onde são gerados;
- Reutilizar embalagens no próprio processo produtivo;
- Minimizar o volume das amostras para o laboratório;
- Identificar produtos e reagentes nas embalagens;
- Minimizar o número de embalagens pelo uso de unidades maiores;
- Responsabilizar os departamentos pela disposição de seus resíduos;
- Estudar a programação da produção para diminuir a frequência das limpezas dos equipamentos;
- Avaliar e reavaliar as condições de transferência e transporte dentro da área industrial;
- Pressurizar a água de lavagem.

O presente trabalho adota a metodologia de Leite e Pawlowsky (2002) tendo em vista a aplicação em diversos trabalhos anteriores com uma boa abordagem e excelentes resultados. Aplicando esta metodologia, Leite (2003) desenvolveu sua pesquisa em uma indústria de alimentos e o lucro obtido seria de aproximadamente R\$ 150 mil por ano, se a empresa adotasse as alternativas de minimização propostas pela autora. Outro exemplo desta utilização foi em uma fábrica de carvão ativado e de goma resina em 2005 por Cendofanti, com lucros de R\$ 299.742,26 por ano e de mais R\$ 145.557,90 relativos ao acúmulo de resíduos na empresa. Da mesma forma, Grubhofer (2006) pesquisou uma indústria gráfica de cartões plásticos e a partir das alternativas de minimização propostas, seria evitada a geração de 2.686,59 kg/ano de resíduos, representando uma economia de R\$ 45.041,25 por ano.

2.3.3 Barreiras na implantação de um PMR

Alguns problemas dificultam a implantação de um Programa de Minimização de Resíduos, o qual deve ter benefícios econômicos e ambientais por meio da minimização. Retta (1999) cita como principais dificuldades:

- As empresas têm receio de investir em técnicas de minimização, por desconhecer as vantagens econômicas e ambientais;

- Escassez de laboratórios especializados em medir a poluição gerada e controlar parâmetros e processos nas empresas;
- Ausência de uma política nacional de minimização de resíduos que ampare as empresas, fornecendo detalhes e orientações de como proceder;
- Muitas tecnologias ainda são obsoletas e a mudança para as mais modernas seria bastante dispendiosa; e
- Dificuldade das empresas em trocarem informações e vivências.

Para Crittenden e Kolaczowski (1995) as barreiras se subdividem em quatro grupos: econômicas, técnicas, legais e culturais.

Tsai e Chou (2004) também citam algumas barreiras para a implantação de um PMR:

- Falta de comprometimento da alta administração;
- Falta de integração organizacional na fase de implantação;
- Falta de recursos humanos e financeiros;
- Falta de incentivos legais;
- Falta de conhecimento técnico;
- Medo de interferência na qualidade do produto final; e
- Resistência a mudanças.

2.4 REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS

Segundo Kiely (1999) e Crittenden e Kolaczowski (1995), o reaproveitamento de resíduos deve ser considerado somente após a eliminação de todas as alternativas anteriores de prevenção e minimização, como indica a Figura 2.3, apresentada anteriormente.

Para Teixeira e Bidone (1999), a reutilização se baseia no aproveitamento do material nas condições em que é descartado, sendo submetido a pouco ou nenhum tratamento, exigindo apenas pequenas operações. A reciclagem de resíduos sólidos se caracteriza pela técnica de refazer o ciclo, isto é, trazer os resíduos de volta ao sistema produtivo sob a forma de matéria-prima (WIEMES, 2003; TEIXEIRA E BIDONE, 1999).

Segundo Teixeira e Zanin (1999), embora a classificação da reciclagem possa variar em função do material, numa classificação mais geral temos as seguintes categorias:

- Reciclagem primária: processamento do resíduo para a fabricação de um produto similar ao original. Também chamada de reciclagem industrial, pois ocorre internamente numa fábrica. Muitas vezes não são considerados como produtos reciclados, pois foram apenas reutilizados com uma mistura de matéria-prima original.
- Reciclagem secundária: processamento do resíduo com a obtenção de produtos diferentes do original. Também conhecida como reciclagem mecânica.
- Reciclagem terciária: implica na obtenção dos componentes químicos básicos de um resíduo para a formação de um novo produto. Também conhecida como reciclagem química e pode ser exemplificada pela compostagem de resíduos orgânicos.
- Reciclagem quaternária: utilização do conteúdo energético dos resíduos por meio da queima ou incineração. Também chamada reciclagem energética, sendo diferenciada das anteriores por não gerar produtos. Não é propriamente uma reciclagem, mas um reaproveitamento de resíduos.

Entretanto, para Pavoni *et al.* (1975), os materiais que podem ser reaproveitados dos resíduos sólidos podem ser classificados em dois grupos: (a) aqueles que podem ser diretamente reciclados e (b) outros que requerem um considerável processamento antes de serem reutilizados. Um exemplo de resíduos que podem ser diretamente reciclados são os rejeitos de produção. O segundo grupo pode ser exemplificado como os papéis que retornam para serem repolpados como aparas nas indústrias papeleiras.

O sucesso da reciclagem depende de algumas habilidades para: (a) reutilizar os resíduos, retornando ao processo original como substituto da matéria prima pura; (b) reutilizar os resíduos como matéria prima no processo interno ou fora dele; e (c) segregar os materiais recuperáveis dos não recuperáveis (CRITTENDEN; KOLACZKOWSKI, 1995). Porém, os mesmos autores ressaltam que a geração de resíduos e sua subsequente reciclagem podem levar a uma série de regulamentos e

responsabilidades a ser cumprida, além dos riscos a saúde e ao meio ambiente, se não forem bem estruturados.

Os programas de reciclagem podem ser motivados pelos seguintes fatores: (a) redução no volume de resíduos a ser disposto ou tratado; (b) redução no consumo de matérias primas e preservação das fontes naturais; (c) contribuição para a recuperação do valor dos materiais que antes seriam perdidos devido a sua disposição incorreta; e (d) a geração de energia de forma direta ou indireta (WIEMES, 2003).

Tendo em vista o objetivo desta pesquisa, é de grande importância conhecer o processo de fabricação de tintas além de suas principais matérias-primas.

2.5 TINTAS

Segundo Silva, Veronezi, Mantovani e Zorel Junior (2000) e Fazenda e Diniz (2005), a tinta é uma composição líquida formada por uma mistura de uma parte sólida - constituída por um ou mais pigmentos dispersos em um aglomerante líquido - e por uma parte volátil, chamada solvente. A parte sólida, a qual adere à superfície a ser impressa, é formada basicamente por pigmentos, cargas, aditivos e resinas. A parte líquida ou volátil pode ser constituída por água, solventes orgânicos e/ou aditivos, como: secantes, desengraxantes, dispersantes, antiespumantes, espessantes, dentre outros. Tendo em vista o objeto do estudo, importa abordar as tintas de impressão.

As tintas de impressão são líquidas ou pastas coloridas formuladas para transferir e reproduzir uma imagem para a superfície de impressão. Também são formadas pela dispersão de corantes insolúveis ou por soluções de corantes em um verniz ou um veículo, de modo que a combinação resultante seja um fluido que distribui e transfere a imagem para a superfície de impressão (LEACH e PIERCE, 1999).

Segundo Ikematsu (2007), as tintas podem ser divididas em base solvente e base água. Na parte líquida ou volátil, a tinta base solvente é constituída apenas por solvente, porém na tinta base d'água, além do solvente, o qual atua como agente coalescedor, também está presente a água em mais significativa proporção. Tendo

em vista o aspecto do filme impresso, é importante conhecer o tipo de cura ou secagem da tinta, podendo ocorrer à temperatura ambiente ou com calor, por oxidação ou por ação de catalisadores (SILVA *et al.*, 2000).

Resinas, pigmentos, solventes e aditivos são os componentes de qualquer tinta e por isso suas características merecem ser descritas neste estudo.

2.5.1 Resinas

Como componente básico da formulação de uma tinta, a resina serve para aglomerar as partículas de pigmentos e também determinar o nome dado a tinta ou revestimento empregado, por exemplo, tintas acrílicas são formadas por resinas acrílicas. Anteriormente, as resinas eram formadas a partir de compostos naturais, vegetal ou animal, porém, atualmente, bem mais resistentes e duráveis, devido à polimerização, são resultado de reações complexas da indústria química e petroquímica (FAZENDA; DINIZ, 2005).

Fazenda e Diniz (2005) citam que para a fabricação de tintas e vernizes são usados diversos tipos de resina, como: vinílica, acrílica, alquídica, poliuretânica, epoxídica, amínica, fenólica, celulósica, hidrocarbônica, de borracha clorada e de silicone. Segundo Silva *et al.* (2000), as três primeiras são as mais comumente utilizadas no mercado.

Na empresa pesquisada, as resinas usadas são acrílicas, alquídicas, epoxídicas e à base de caseína. As resinas acrílicas são copolímeros de alto peso molecular com dois ou três tipos de monômeros, sendo um deles, composto acrílico que contém grupos reativos como hidroxila, carboxila ou amida e o outro, um éster acrílico, e um terceiro opcional, que pode ser um monômero tipo estireno (SILVA *et al.*, 2000).

As resinas alquídicas são também conhecidas como poliéster e podem ser definidas como macromoléculas formadas pela reação de esterificação de um poliácido e um poliálcool. A partir desta reação, os ésteres formados são modificados posteriormente por óleo e/ou ácido graxo (SILVA *et al.*, 2000 e FAZENDA; DINIZ, 2005). Resinas epoxídicas ou simplesmente resina epóxi são polímeros caracterizados pela presença de grupos epóxi - também chamados

grupos glicídilas - e de outros grupos funcionais. Substâncias que contenham o grupo epóxi em sua molécula, mas que não sejam de natureza polimérica não formam os polímeros da resina epoxídica (FAZENDA; DINIZ, 2005). E a mais utilizada, a resina à base de caseína (caseinato) é uma resina natural semitransparente, solúvel em água, feita da mistura de pigmentos com caseína. Caracteriza-se como uma proteína fosfórica encontrada no leite e seus derivados. Elaborada a partir do leite de cabra, a caseína é solubilizada com hidróxidos com cálcio, sódio e potássio para formar o caseinato¹.

2.5.2 Pigmentos

Fazenda e Diniz (2005) definem pigmento como material sólido insolúvel, finamente dividido, o qual tem por objetivo conferir cor, opacidade, características de resistência, dentre outros efeitos à tinta. Para Leach e Pierce (1999), os pigmentos são provavelmente os itens mais importantes na formulação das tintas de impressão, pois eles transferem a identidade visual numa contribuição invariável.

Existem centenas de pigmentos diferentes, alguns são formados naturalmente de maneira mineral ou vegetal, mas a maioria deles é produzida por materiais sintéticos a partir de processos químicos. Uma simples classificação, mas não ideal, segundo Leach e Pierce (1999), é dividi-los em orgânicos e inorgânicos. Porém Fazenda e Diniz (2005), classificam os em coloridos, não coloridos e anticorrosivos, proteção aos metais.

Em conformidade com a empresa pesquisada, os pigmentos serão abordados na classificação de inorgânicos e orgânicos (FAZENDA; DINIZ, 2005)². Os pigmentos inorgânicos são todos os brancos, cargas e grande parte dos coloridos, sintéticos ou naturais, da classe química dos compostos inorgânicos, conforme Tabela 2.2 a seguir.

¹ Embora esta resina seja largamente usada no processo produtivo de tintas, a literatura científica consultada se dedica a detalhar o seu conceito e aplicação. A descrição aqui apresentada foi elaborada a partir de informações fornecidas pelo fabricante e obtidas durante a pesquisa na empresa.

² Para maiores informações e detalhes sobre classificação de pigmentos e corantes, pode ser consultado o Colour Index publicado pela "The Society of Dyes and Colourists" e pela "American Association of Textile Chemists and Colourists", principal trabalho nesta área segundo Fazenda e Diniz (2005).

TABELA 2.2 – PIGMENTOS INORGÂNICOS

| Cargas | |
|-----------------------|---|
| Pigmentos verdadeiros | Dióxido de titânio Óxidos de ferro Cromatos de chumbo Cromatos de zinco Verdes de cromo Azul de Prússia Sulfetos e sulfoselenetos de cádmio Óxido de zinco Óxido de cromo Azul de ultramar Negro de fumo Pigmentos metálicos Fosfato de zinco Sílico aluminato de sódio Níquel titanatos e cromos titanatos Bisnuto vanadatos Azuis e verdes de cobalto |

FONTE: Fazenda e Diniz (2005)

Os pigmentos orgânicos são substâncias orgânicas que se apresentam na forma de cristais, de formas mais variadas. A mais comum é acicular, isto é, na forma de uma pequena agulha. Porém para a fabricação de tintas e vernizes, esses pigmentos devem ser processados até que, pela dissociação, se obtenha o maior grau de cristais primários no meio líquido da solução de resinas e aditivos, processo conhecido como moagem (FAZENDA; DINIZ, 2005).

As estruturas orgânicas que compõem os pigmentos são muitas, além de muito complexas. Portanto, para chegar a uma classificação, Fazenda e Diniz agruparam-nas de acordo com algumas propriedades físicas e estruturas genéricas.

Alguns exemplos mais comuns de pigmentos orgânicos são:

- monoazóicos;
- monoazóicos laqueados;

- diazóicos;
- azóicos-benzimidazolonas;
- de diazocondensação;
- policíclicos;
- de tetracloroisoindolinona;
- de antraquinna;
- de tioíndigo;
- de crinaquidona;
- de perileno;
- de ftalocianinas;
- de dioxazina;
- de dioxazina-benzimidazolona;
- de dicetopirrolpirrol – ddp;
- de azo-quinoxalinadiona.

2.5.3 Aditivos

São substâncias adicionadas na formulação de tintas e vernizes com a finalidade de melhorar a qualidade da manufatura, a estabilidade, a aplicabilidade e o aspecto do filme. Segundo Fazenda e Diniz (2005), os aditivos raramente excedem 5% da composição da tinta. Em relação ao mecanismo de atuação podem ser divididos em quatro grupos, segundo os mesmos autores: (i) aditivos de cinética: secantes, catalisadores e antipeles; (ii) aditivos de reologia: espessantes e antiescorrimento; (iii) aditivos de processo: surfactantes, umectantes e dispersantes, antiespumantes e nivelantes; e (iv) aditivos de preservação: biocidas e estabilizantes de ultravioleta.

2.5.4 Solventes

Os solventes são produtos químicos líquidos e voláteis, geralmente com baixo ponto de ebulição, com capacidade para solubilizar ou simplesmente dissolver a resina, sem alterar suas propriedades, e para homogeneizar os demais componentes da tinta. Além de proporcionar uma viscosidade adequada para a aplicação do revestimento, o solvente: (i) promove a dispersão da resina em toda a superfície; (ii) contribui para o nivelamento; (iii) controla a taxa de evaporação; e (iv) influencia nos parâmetros da aparência final, como brilho (FAZENDA; DINIZ, 2005 e IKEMATSU, 2007).

Para avaliar a qualidade de um solvente, algumas propriedades importantes devem ser observadas, como: poder de solvência, taxa de evaporação, ponto de fulgor, estabilidade química, tensão superficial, cor, odor, toxicidade, biodegradabilidade, relação entre custo e benefício (FAZENDA; DINIZ, 2005). Também deve ser levado em consideração o grau de semelhança ou afinidade química entre o solvente e os materiais a serem dissolvidos (LEACH; PIERCE, 1999).

Existem diversas maneiras de classificar os solventes usados na fabricação de tintas e vernizes, porém a mais utilizada tem por parâmetro a análise da estrutura química. Desta forma, hidrocarbonetos, solventes oxigenados (álcool, éster, éter glicólico e cetona), solventes clorados, éter e nitroparafinas são exemplos de solventes orgânicos usados neste tipo de indústria (LEACH; PIERCE, 1999; FAZENDA; DINIZ, 2005).

2.5.5 Cura por radiação UV

A cura por radiação UV é a transformação instantânea de um líquido num sólido por meio da exposição a este tipo de radiação. Esta ocorre devido à polimerização e à reticulação entre as espécies químicas presentes na composição das tintas e dos vernizes UV, a qual é bastante similar as demais tintas, apenas se

diferenciando pela adição do fotoiniciador - substância sensível à radiação - responsável pelo início do processo de polimerização (FAZENDA; DINIZ, 2005).

Após o detalhamento sobre tintas, importa ressaltar o processo produtivo de impressão de papéis decorativos.

2.6 PAPEL DECORATIVO

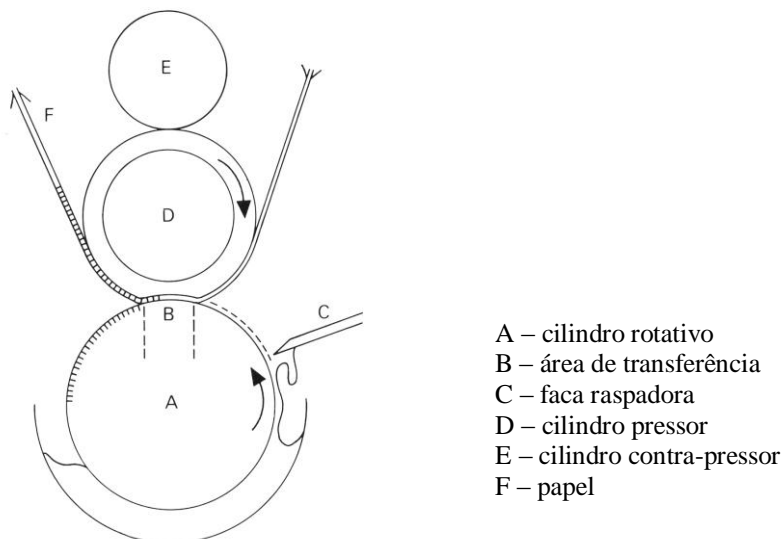
O papel decorativo surgiu com a necessidade de embelezar os painéis reconstituídos e pisos de madeira imitando a própria madeira ou até pedras. Segundo Mori (2008), até pouco tempo, o bom e desejado móvel era aquele feito com madeira de lei. Os painéis de madeira reconstituída, feitos a partir de madeira desfibrada – MDF (*medium density fiberboard*) ou mesmo de resíduos de madeira – OSB (*oriented strand board*) substituíram, em muitos casos, as madeiras de lei. Esses materiais são tão bons ou melhores do que a madeira sólida, pois são móveis e materiais de construção mais estáveis, mais lisos, com o desenho e a textura desejável, bem como na densidade de painel que mais se apropriar ao uso. Eles permitem a aplicação direta de um papel decorativo impresso e impregnado com resina sobre o aglomerado ou o painel MDF. O MDF é estável, muito liso e uniforme, trabalha muito pouco, não empena e tem resistência muito boa.

O processo de impressão do papel decorativo é por rotogravura. Embora existam diversos³ tipos de impressão de papéis como a litografia, flexografia, rotogravura, *letter press*, impressão em telas, *ink jet*, impressão a *laser*, dentre outros, este trabalho se restringe ao detalhamento do processo de rotogravura, pois atualmente é o mais utilizado na fabricação de papéis decorativos. Segundo Speck (2001), o processo de impressão por flexografia também pode ser usado para impressão de papéis decorativos, porém, não é largamente usado devido ao custo da matriz ser bastante elevado, tendo em vista que esta é feita em madeira, esculpida à mão (BIRKENSHAW, 1999).

Conforme a ilustração da Figura 2.4, o processo de impressão por rotogravura é um processo de impressão rotativa que se baseia na transferência de

³ Detalhamento das outras formas de impressão, consulte Birkenshaw (1999).

tintas líquidas, através de cilindros de cobre gravados (baixo relevo) a um substrato flexível, neste caso o papel (LEACH, 1999). A secagem é realizada por convecção por meio de cilindros na parte superior da máquina de impressão. O papel base entra no processo, passa por 4 a 5 seções da máquina, sendo as primeiras com tintas de diferentes cores e a última com verniz, quando aplicável.



FONTE: Birkenshaw (1999)

FIGURA 2.4 – PROCESSO DE IMPRESSÃO POR ROTOGRAVURA

Segundo Mori (2008) e Giacobelli (2000) atualmente, existem três processos em uso para a fabricação de produtos finais de papéis impressos, para uso em móveis, materiais de construção, laminados de madeira para pisos, entre outras aplicações, são eles: papéis decorativos tipo saturação - laminado de alta pressão (AP) e de baixa pressão (BP) - e *finish foil* (FF).

Os papéis decorativos tipo saturação constituem-se de papéis base com gramatura entre 65 - 90 g/m², com alto teor de cinzas, com características de alta absorção e impressos com tintas à base d'água. A aplicação deste produto ocorre na fabricação de painéis revestidos, porém com uma impregnação anterior de resina MF (melamínica-formaldeído) e UF (uréia-formaldeído), antes da prensagem sobre o painel de MDP (*medium density particleboard*), MDF ou para a fabricação de laminados plásticos de alta pressão (fórmica). O uso final do produto revestido se efetiva na fabricação de móveis ou pisos flutuantes.

O laminado de alta pressão (AP) ou *High Pressure Laminate* (HPL) chamado de laminado plástico ou fenólico é também conhecido como fórmica, marca registrada no Brasil pela Formiline em 1913. O AP é composto por papéis decorativos impregnados com resina melamínica na superfície decorativa e papéis Kraft impregnados com resina fenólica no miolo, prensados à alta pressão, cerca de 70 kgf/cm² e alta temperatura, 140°C. Este processo confere ao laminado uma alta resistência ao desgaste (impactos, alta temperatura, água fervente, manchas, produtos domésticos) e alta estabilidade à cor com facilidade de limpeza e higiene. Ele é utilizado para o revestimento de móveis, pois alia características de alta resistência à diversidade de cores, padrões e acabamentos.

O laminado de baixa pressão (BP) ou *Low Pressure Laminate* (LPL) é uma película celulósica impregnada com resinas melamínicas de cura rápida pela presença de catalisadores e depois de seco é prensada e fundida sobre as chapas de MDP e MDF. Com isso, o ciclo de prensagem e de temperatura são mais rápidos e em condições mais suaves de pressão. A pressão está em torno de 25 kgf/cm² e a temperatura em 200°C. O produto resultante tem altíssima resistência à abrasão no lado do papel decorativo impregnado.

O *finish-foil* trata-se de uma película celulósica com gramatura compreendida entre 30-70 g/m², impressos pelo processo de rotogravura e acabados com vernizes de cura ácida ou por cura ultra-violeta, podendo ser semifosca ou brilhante. Este produto é aplicado normalmente em prensas contínuas ou planas sobre MDP (*medium density particleboard*) ou MDF e colado com resinas do tipo UF (uréia-formol), tendo sua aplicação prática na fabricação de móveis, pois estão disponíveis em diversos desenhos e padrões, tanto madeirados como unicolores.

Esses produtos são usados para fabricação de móveis mais baratos, divisórias e produtos onde as exigências por resistência à abrasão sejam menores. O papel utilizado para o "finish foil" é inferior ao decorativo, tanto em gramatura como em opacidade.

O papel decorativo impresso e impregnado com resinas possui característica de plástico, mas com muitas vantagens em relação ao plástico: maior resistência ao fogo, maior estabilidade, muito maior resistência à abrasão e maior beleza estética (MORI, 2008).

O processo produtivo em estudo caracteriza-se pela impressão de papéis de alta saturação (AP e BP) e *finish foil* como será detalhado no Capítulo 3.

O estudo em questão poderá representar uma significativa importância para o gerenciamento de resíduos industriais da fabricação de tintas e impressão de papéis decorativos, além de contribuir para uma gestão sustentável pelo reaproveitamento de matérias-primas.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 DESCRIÇÃO DA EMPRESA E DO PROCESSO PRODUTIVO

O trabalho de minimização e reaproveitamento de resíduos de uma indústria de tintas e impressão de papéis decorativos foi desenvolvido na *Impress Decor Company*, empresa fabricante de tintas, vernizes e impressão de papéis decorativos especiais destinados à fabricação de móveis, pisos flutuantes e laminados de alta (AP) e de baixa pressão (BP). Esta empresa é composta por duas unidades industriais. A primeira, pela unidade de fabricação de tintas e de vernizes e a segunda pela impressão do papel decorativo. A produção, no período de 01/01/2008 a 31/12/2008 foi de 34,7 milhões de m² de papel BP, 19,3 milhões de m² de papel FF, 1.143 toneladas de tintas à base d'água, 268 ton de vernizes *standart* (base d'água), 346 toneladas de tintas e vernizes por cura de luz UV. 70% de produção de tintas e de vernizes da *Impress* é utilizada para consumo interno, os outros 30% são comercializados. A fim de estudar as unidades industriais, elas serão divididas em setores para facilitar a abordagem e a compreensão, conforme mostra a Tabela 3.1.

3.1 – UNIDADES E SETORES INDUSTRIAIS

| Setor | Descrição | Unidade |
|-------|---|---------------------------------|
| S1 | Fabricação de tintas – FT | Fabricação de tintas e vernizes |
| S2 | Laboratório de tintas e vernizes – LTV | Fabricação de tintas e vernizes |
| S3 | Sala de tintas – ST | Impressão de papéis |
| S4 | Máquinas de impressão 1 e 2 – IP | Impressão de papéis |
| S5 | Máquina piloto (<i>baby line</i>) – BAB | Impressão de papéis |
| S6 | Rebobinadeira – REB | Impressão de papéis |
| S7 | Laboratório de papel – LP | Impressão de papéis |
| S8 | Impregnação – IMP | Impressão de papéis |
| S9 | Setor de limpeza – LI | Impressão de papéis |
| S10 | Lavagem de cilindros – LC | Impressão de papéis |
| S11 | Almoxarifado e expedição – ALM | Geral |
| S12 | Administrativo – ADM | Geral |
| S13 | Manutenção – MAN | Geral |
| S14 | Refeitório – REF | Geral |
| S15 | Estação de tratamento de efluentes – ETE | Geral |

As duas unidades ocupam uma área aproximada de 59.000 m². A empresa possui 64 colaboradores no setor de produção e 31 colaboradores no setor administrativo. Durante o período do trabalho de pesquisa, a empresa iniciou a implantação do sistema de coleta seletiva na área administrativa.

3.1.1 Unidade de tintas

Nesta unidade ocorre a produção de vernizes de acabamento de cura por luz ultravioleta (UV), vernizes base d'água de cura ácida, também chamado de *standart*, tintas à base d'água e à base de monômeros e oligômeros acrílicos 100% reativos (UV), sendo este último tipo apenas para comercialização. Os principais insumos são as resinas, os solventes, os aditivos, os pigmentos e as cargas minerais. Estas últimas são sais utilizados para encorpar a tinta, o que possibilita a economia de pigmentos.

As matérias primas são recebidas, conferidas e encaminhadas ao laboratório de tintas e vernizes para o controle de qualidade. As resinas são analisadas quanto a viscosidade, densidade, poder de cura, sólidos e pH (potencial hidrogeniônico). Os pigmentos são avaliados quanto à colorimetria, o poder tintorial e absorção em óleo. As cargas minerais, como CaCO₃, BaSO₄, e SiO₂, são submetidas somente ao teste de absorção a óleo.

Para a fabricação de tintas são usados tachos metálicos, separados por cor, isto é, existem tachos específicos para a produção de tintas vermelhas, amarelas, brancas, pretas ou alaranjadas, para evitar a lavagem constante e um volume excessivo de água residuária, minimizando a geração de resíduos. No início de cada produção, o tacho é lavado com uma pequena quantidade de água ou com álcool etílico, quando é tinta UV, apenas para retirar eventuais poeiras. Na formulação dos vernizes não são adicionados pigmentos.

As principais resinas usadas são: uma acrílica, duas alquídicas acriladas, duas epoxídicas e à base de caseína. Em relação aos pigmentos, os principais orgânicos são: o amarelo isoindolina, o vermelho naftol e o azul ftalo. Quanto aos inorgânicos: o cromato de molibdênio e o amarelo de cromo. Estes pigmentos contêm metal pesado, por isso, estão sendo substituídos por pigmentos orgânicos,

como os monoazóicos, de dioxazina-benzimidazolona, de azo-quinoxalinadiona e de diazocondensação.

Todas as tintas base d'água e UV que são pigmentadas precisam passar pelos moinhos para aumentar a dispersão dos pigmentos, melhorando o rendimento das tintas. Ao término da operação de moagem é efetuada uma limpeza com água ou álcool, dependendo do tipo da tinta e estes são incorporados à tinta.

Após a formulação finalizada, as tintas e os vernizes passam pelo controle da qualidade no laboratório de tintas, por meio dos seguintes ensaios: estabilidade térmica, resistência ao sangramento, resistência a abrasão, resistência à temperatura, brilho, fineza e também são analisadas suas características quanto ao alastramento, tensão superficial, flotação e formação de espuma, sólidos, viscosidade, densidade e pH.

Após a confirmação do laboratório de que os produtos enquadram-se nos padrões de especificidade, as tintas são acondicionadas em contêineres, tambores ou baldes. Os contêineres são encaminhados ao setor de estocagem ficando armazenados, por um período máximo de seis meses, até a utilização pelo setor de mistura. As tintas acondicionadas em tambores ou baldes são comercializadas. O verniz UV é acondicionado no setor de estocagem e utilizado, posteriormente, direto nas máquinas de impressão sem a necessidade de passar pelo setor de mistura. Diferentemente do verniz UV, o verniz base água tem sua viscosidade ajustada com solvente e é catalisada na sala de tinta, depois enviado para as máquinas. O diagrama de processo de produção da unidade de fabricação de tintas está representado na Figura 3.1.

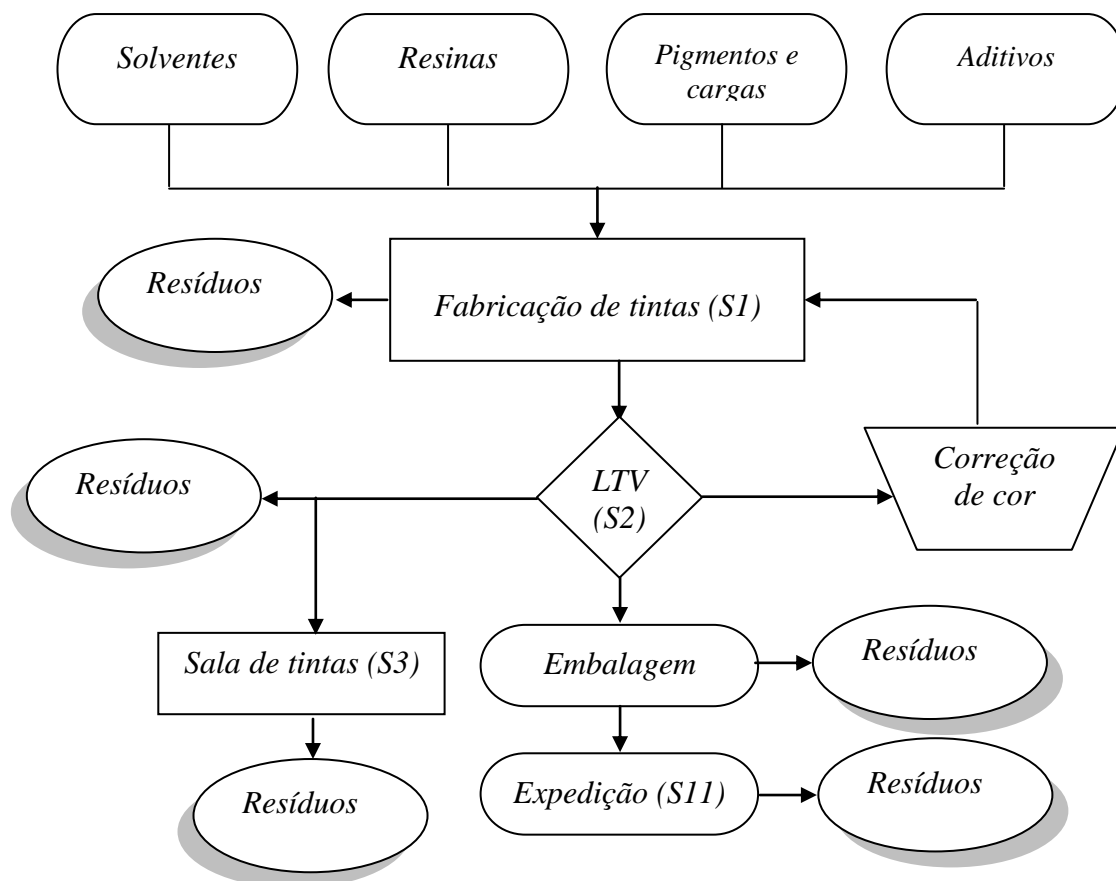


FIGURA 3.1 – DIAGRAMA DE PROCESSO NA UNIDADE DE TINTAS

3.1.2 Unidade de impressão de papel

As principais matérias-primas desta unidade são os cilindros de impressão, as tintas e vernizes preparados, os tubetes para a formação das bobinas e os fardos de papéis acerto e especiais, em diversas gramaturas e larguras. Os cilindros de impressão possuem suas gravações, na camada de cobre, feitas com diamante e depois da gravação são revestidos com cromo para aumentar sua durabilidade.

Os cilindros ficam armazenados limpos no estaleiro, envoltos em papel crepe e flanela. Raramente ocorre algum descarte destes cilindros, pois se estiver com a camada de cromo desgastada, este é enviado para a eletrodeposição (descromagem e cromagem). Para o controle de qualidade, amostras dos papéis base são encaminhadas ao laboratório de papel e realizados ensaios de resistência à tração a úmido e a seco, lisura, porosidade, cinzas, cor, umidade e gramatura para

ambos os papéis, pH e capilaridade somente para papel BP e ensaio de COBB oposto e na tela, exclusivo para FF.

O setor de mistura recebe as tintas e as armazena até a elaboração da mistura de acordo com a cor desejada. Para isso, dispõe de oito bases: branco *standart*, negro, azul, duas amarelas, duas alaranjadas e duas carmins. Neste setor, o processo é muito simples, a partir de tubulações principais, as bases são adicionadas no tacho, agitadas com o auxílio de um misturador e levadas às máquinas de impressão.

Na impressão do papel decorativo, a máquina inicia seu funcionamento após o carregamento do papel, vernizes e tintas. Até o completo ajuste da máquina são produzidos papéis impressos fora de especificação, chamado de papel de acerto. Este papel fica enrolado no tubete juntamente com o papel impresso de boa qualidade, sendo separados somente na rebobinadeira.

Para o abastecimento de tintas e vernizes nos tinteiros, são necessários no mínimo 50 quilos de cada tipo de tinta ou verniz. Ao término da produção desejada, as tintas são retornadas ao setor de mistura e reformuladas para uma próxima produção, ficando armazenadas em bombonas por um período máximo de dois anos. Já os vernizes de cura UV, usados somente na impressão de papel FF, podem ser armazenados por tempo indeterminado e, quando necessário, reutilizados. Porém, os vernizes *standart*, isto é, à base d'água são descartados em tambores, pois são catalisados e não podem ser reutilizados.

Após a impressão do papel nas máquinas 1 e 2, amostras do papel impresso seguem para a impregnação e ensaios no laboratório de papel. A impregnação é realizada com resina melamínica para a avaliação da aplicação final do produto pelos clientes em aglomerados, MDF ou folhas de Kraft para a formação do AP ou fórmica. As amostras de papel BP e FF seguem para os testes laboratoriais, como: gramatura e resistência a tração úmido e a seco. As análises de cor, umidade, cinzas, pH, capilaridade e porosidade são exclusivas para papel BP. Os testes de resistência à produtos químicos, resistência à abrasão, brilho a 60°C prensado e *foil*, teste com a fita adesiva, delaminação corte cruzado, delaminação no estilete, *blocking test*, teste do MEC, *grease test*, risco de Hoffman e ensaio de COBB, são realizados somente para o papel FF.

Confirmadas as especificações do papel impresso, as bobinas seguem para o setor de revisão e de rebobinamento, onde são conferidas e embaladas nos

comprimentos e larguras adequadas aos pedidos dos clientes. Neste setor, ocorre a produção de refilos, somente do papel BP, pois os papéis FF não são refilados, saindo da máquina na largura solicitada pelo cliente. As bobinas revisadas são embaladas e armazenadas até a expedição.

Antes de uma nova produção nas máquinas, os tinteiros são lavados, os cilindros enviados ao setor de lavagem e as facas, tachos e outras peças das máquinas são enviados ao setor de limpeza.

Para a pesquisa e o desenvolvimento de novos padrões de impressão, esta indústria possui uma máquina piloto, também chamada de *baby line*. O processo é bastante similar ao das máquinas de impressão 1 e 2, exceto pela falta da aplicação de verniz.

A expedição de materiais acabados, tintas e papéis impressos, é realizada pelos funcionários do almoxarifado. O diagrama de processo desta unidade está representado na Figura 3.2.

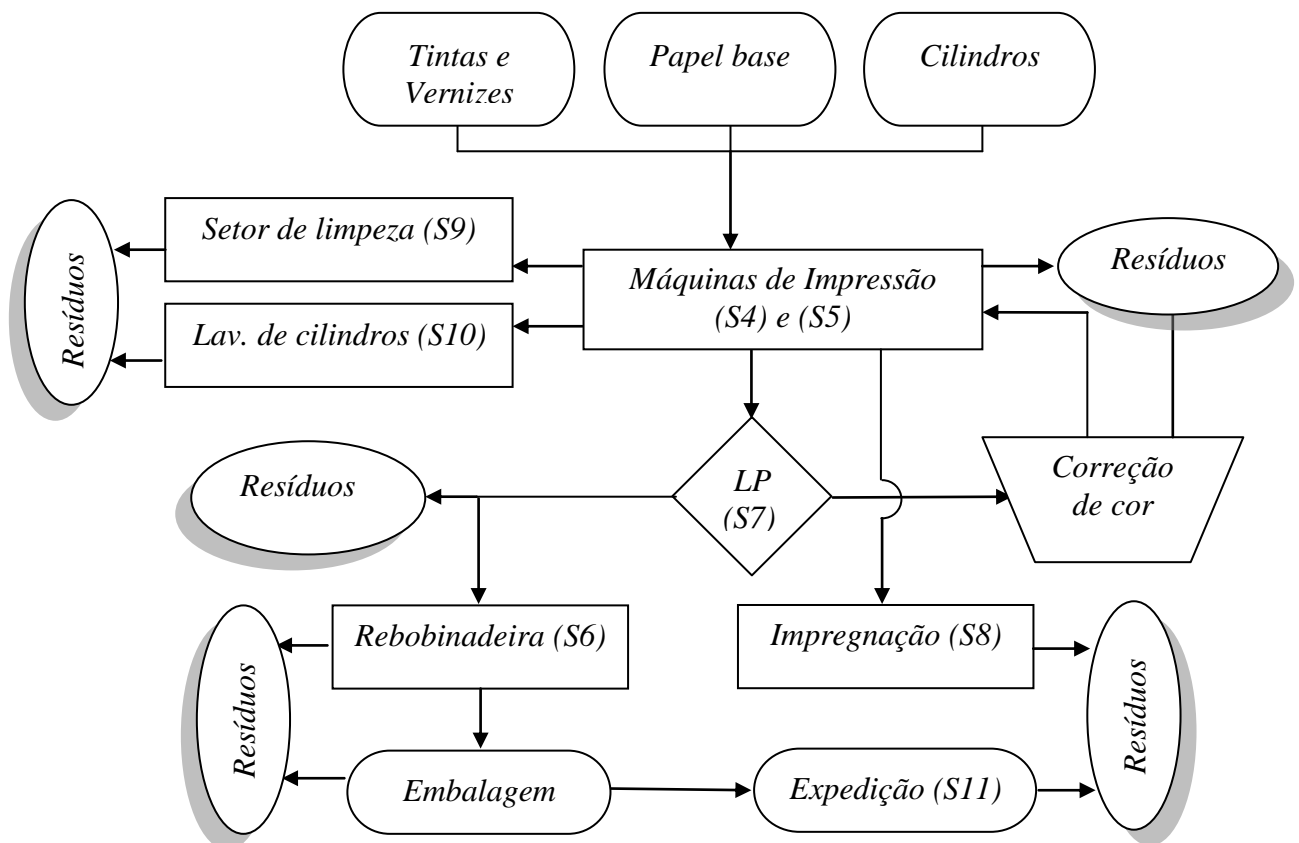


FIGURA 3.2 – DIAGRAMA DA UNIDADE DE IMPRESSÃO DE PAPÉIS

3.2 METODOLOGIA

3.2.1 Metodologia para identificação e quantificação dos resíduos

A identificação dos resíduos foi realizada *in loco* em cada setor industrial por meio do acompanhamento da produção e também das informações concedidas pelos líderes de produção e pelos operadores. Foi realizado um estudo preliminar da quantificação de resíduos na unidade de fabricação de tintas, a partir da separação de resíduos acumulados num período estimado de 30 dias. Após a separação, os resíduos foram pesados e observados em volume para um conhecimento inicial dos resíduos e para a definição do tamanho dos coletores a serem instalados nos setores da unidade de tintas.

Os coletores como tambores, bombonas, baldes ou latas foram providenciados pelo pessoal do almoxarifado e da manutenção. A identificação destes foi realizada pela pesquisadora e o melhor local para a instalação dos coletores foi definido pelo responsável da área. Os operadores foram instruídos quanto à correta separação e pesagem do material. Planilhas para controle da pesagem foram disponibilizadas e treinamentos realizados, além de permanecer à disposição deles uma descrição explicativa de como proceder com a separação. Foram necessários dois meses para o levantamento e identificação dos resíduos.

A quantificação dos resíduos foi realizada em todos os setores com o auxílio da ficha de quantificação de resíduos (Figura 3.3), durante um período de três meses, de outubro a dezembro de 2008. Os valores foram inseridos em uma planilha, mês a mês, e após a análise dos valores da quantificação e do *mix* de produção, as quantidades de resíduos foram anualizadas em função da produção mensal e de planilhas de venda e de descarte de resíduos. Juntamente com os valores de produção, encontrou-se o índice de geração de resíduos em uma média mensal de 8,6 kg de resíduos/ 1.000 m² de papel impresso, como mostra o anexo 01. Vale ressaltar que a geração mensal de resíduos no ano de 2008, em média, foi de 38,5 toneladas.

O acompanhamento aos setores para identificação e quantificação dos resíduos foi realizado durante cinco meses, de agosto a dezembro.

humanos, técnicos e financeiros, voltados à minimização desses resíduos (Cercal, 2000).

Segundo Cercal (2000), esses estudos foram desenvolvidos em separado por dois motivos principais:

- Para que o usuário possa selecionar suas prioridades para a minimização de resíduos sob três enfoques importantes e essencialmente diferentes;
- Para evitar o risco de chegar a uma solução heurística, num único modelo geral, embora matematicamente coerente, não seria muito representativa da realidade, por misturar diferentes categorias de conceitos.

Portanto o modelo matemático foi elaborado para tratar da diversidade existente na geração do resíduo, em diferentes equipamentos, composições, quantidades e destinações finais.

Por isso Cercal (2000) admitiu 25 classes de destinação de resíduos, levando em consideração a natureza e a localidade do destino final, a existência ou não de um beneficiamento antes da disposição final e por último a função do resíduo, ou seja, a utilização do resíduo (reuso, disposição, reciclagem). Cada classe foi composta por um par de símbolos: um algarismo e uma letra. O algarismo representando a natureza, o beneficiamento e a função da destinação final e a letra representando a localidade da destinação final (LEITE, 2003; CENDOFANTI, 2005). A Tabela 3.2 mostra as características das classes de destinação de resíduos.

TABELA 3.2 – CARACTERÍSTICAS DAS CLASSES DE DISPOSIÇÃO

| Letra | Algarismo | Características |
|-------|-----------|--|
| | 1 | Reutilização direta do resíduo com os materiais em sua função original. |
| | 2 | Reutilização direta do resíduo com os materiais em função diferente da original. |
| | 3 | Reutilização do resíduo após beneficiamento, com os materiais em sua função original. |
| | 4 | Reutilização do resíduo após beneficiamento, com os materiais em função diferente da original. |
| | 5 | Disposição final adequada. |
| | 6 | Disposição final inadequada. |
| | 7 | Resíduo sem disposição definida. |
| A | | Na fonte. |
| B | | Em outro equipamento na mesma unidade produtiva. |
| C | | Em outra unidade produtiva na mesma fábrica. |
| D | | Em outra fábrica. |
| E | | Em outra fábrica, porém com beneficiamento na unidade fabril onde o resíduo é gerado. |

FONTE: Cercal (2000)

Para esta etapa foi usada a ficha de caracterização (anexo 02) desenvolvida por Leite (2003) e adaptada por Cendofanti (2005). O levantamento das variáveis foi efetivado com informações fornecidas por funcionários dos setores de compra, de custos e do almoxarifado. A priorização dos resíduos foi realizada durante um período de dois meses e meio.

3.2.2.1 Análise do resíduo por valor

Essa análise considera a caracterização bem como as quantidades geradas de resíduos, o valor dos materiais presentes e o seu grau de alteração, os custos globais do gerenciamento do resíduo e as destinações finais que são dadas aos mesmos.

Como citado anteriormente, a análise por valor leva em consideração o aspecto ambiental para a hierarquização das prioridades de minimização de resíduos. Desta forma, Cercal (2000) criou uma variável composta por mais duas. A primeira variável é o índice de priorização hierárquica de minimização de resíduos

(IPHMR), sendo composto pelo produto entre a base do IPHMR e a alteração percentual admitida para o valor substancial do resíduo.

A base do IPHMR é uma constante que representa a posição da classe de destinação dentro da escala de hierarquia de prioridades da Teoria de Minimização de Resíduos, conforme Tabela 3.3. Este valor poderá variar de -1,8 até +1, e quanto maior, mais prioritária será a destinação.

TABELA 3.3 – PARÂMETROS MATEMÁTICOS DAS CLASSES DE DISPOSIÇÃO

| Classe | $D^{S/N}_{\$+}$ | $D^{S/N}_{\$B}$ | $D^{S/N}_{\$T}$ | $D^{S/N}_{\$TD}$ | $D^{S/N}_{\$GP}$ | $D^{S/N}_{\$R}$ | ξ_B |
|--------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|-----------------|---------|
| 1-A | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | +1,00 |
| 1-B | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | +0,97 |
| 1-C | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | +0,95 |
| 1-D | 0 | 0 | 0/1 ⁴ | 0 | 1 | 1 | +0,92 |
| 2-A | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | +0,90 |
| 2-B | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | +0,87 |
| 2-C | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | +0,85 |
| 2-D | 0 | 0 | 0/1 | 0 | 1 | 1 | +0,82 |
| 3-A | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | +0,80 |
| 3-B | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | +0,77 |
| 3-C | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | +0,75 |
| 3-D | 0 | 0/1 | 0 | 0 | 1 | 1 | +0,72 |
| 3-E | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | +0,60 |
| 4-A | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | +0,50 |
| 4-B | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | +0,45 |
| 4-C | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | +0,40 |
| 4-D | 0 | 0 | 0/1 | 0 | 1 | 1 | +0,20 |
| 4-E | 0 | 1 | 0/1 | 0 | 1 | 1 | ZERO |
| 5-A | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | -0,20 |
| 5-B | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | -0,40 |
| 5-C | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | -0,60 |
| 6-A | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | -1,00 |
| 6-B | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | -1,20 |
| 6-C | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | -1,40 |
| 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | -1,80 |

FONTE: Adaptado de Cercal (2000)

A alteração percentual admitida para o valor substancial do resíduo representa a valoração do resíduo em função da composição mássica e o valor dos materiais que o compõem (CERCAL, 2000). Ela é calculada conforme a composição mássica percentual ponderada do resíduo e a alteração percentual admitida para o valor de cada material que o compõe. Seu valor mínimo estabelecido por Cercal (2000) é de 0,5 (50%) e o valor máximo pode ser definido pelo calculista.

⁴ Utilizar zero (0) ou um (1) conforme o frete seja pago, respectivamente, por terceiros ou pela empresa.

As equações usadas para o cálculo da análise do resíduo por valor estão na

Tabela 3.4.

TABELA 3.4 – EQUAÇÕES PARA A ANÁLISE DE VALOR

| Descrição | Equação | Número |
|--|---|--------|
| Valor unitário do resíduo | $\$^+ = \sum_{k=1}^p \sum_{j=1}^e \sum_{h=1}^d (Y_{hjk} \cdot D_{\$^+}^{S/N}{}_{hjk}) \cdot (\sum_{i=1}^m \$^+_i \cdot X_{ijk}) \cdot Z_{jk} \cdot W_k$ | (01) |
| Alteração percentual admissível para o valor unitário do resíduo | $\Delta \$^{\%} = \sum_{k=1}^p \sum_{j=1}^e \sum_{i=1}^m (\Delta \$^{\%}_i \cdot X_{ijk}) \cdot Z_{jk} \cdot W_k$ | (02) |
| Custo unitário de beneficiamento do resíduo | $\$^-_B = \sum_{k=1}^p \sum_{j=1}^e \sum_{h=1}^d (Y_{hjk} \cdot D_{\$^-_B}^{S/N}{}_{hjk} \cdot \$^-_{Bhjk}) \cdot Z_{jk} \cdot W_k$ | (03) |
| Custo unitário de transporte do resíduo | $\$^-_T = \sum_{k=1}^p \sum_{j=1}^e \sum_{h=1}^d (Y_{hjk} \cdot D_{\$^-_T}^{S/N}{}_{hjk} \cdot \$^-_{Thjk}) \cdot Z_{jk} \cdot W_k$ | (04) |
| Custo unitário de tratamento e disposição do resíduo | $\$^-_{TD} = \sum_{k=1}^p \sum_{j=1}^e \sum_{h=1}^d (Y_{hjk} \cdot D_{\$^-_{TD}}^{S/N}{}_{hjk} \cdot \$^-_{TDhjk}) \cdot Z_{jk} \cdot W_k$ | (05) |
| Custo unitário de geração e permanência do resíduo | $\$^-_{GP} = \sum_{k=1}^p \sum_{j=1}^e \sum_{h=1}^d (Y_{hjk} \cdot D_{\$^-_{GP}}^{S/N}{}_{hjk} \cdot \$^-_{GP hjk}) \cdot Z_{jk} \cdot W_k$ | (06) |
| Retorno obtido conforme a disposição dada ao resíduo | $\$^+_R = \sum_{k=1}^p \sum_{j=1}^e \sum_{h=1}^d (Y_{hjk} \cdot D_{\$^+_R}^{S/N}{}_{hjk} \cdot \$^+_{Rhjk}) \cdot Z_{jk} \cdot W_k$ | (07) |
| Base do IPHMR | $\xi_B = \sum_{k=1}^p \sum_{j=1}^e \sum_{h=1}^d \xi_{Bh} \cdot Y_{hjk} \cdot Z_{jk} \cdot W_k$ | (08) |
| IPHMR | $\xi = \xi_B \cdot \Delta \$^{\%}$ | (09) |
| Valor unitário do resíduo não corrigido | $\$ = \$^+ - \$^-_B - \$^-_T - \$^-_{TD} - \$^-_{GP} + \$^+_R$ | (10) |
| Constância do resíduo | $K = \sum_{k=1}^p \sum_{j=1}^e K_{jk} \cdot Z_{jk} \cdot W_k$ | (11) |
| Relação do resíduo com o processo | $\Omega = \text{cte}$ | (12) |
| Fator de correção para valores positivos do resíduo | $\delta^+ = (1 + \xi) / K \cdot \Omega \quad // \quad \xi \neq (-1)$ | (13) |
| Fator de correção para valores negativos do resíduo | $\delta^- = (1 - \xi) \cdot K \cdot \Omega \quad // \quad \xi \neq (+1)$ | (14) |
| Valor unitário do resíduo não corrigido | $\begin{aligned} \text{Se } \$ > 0 &\Leftrightarrow \$ = \$ \cdot \delta^+ \\ \text{Se } \$ < 0 &\Leftrightarrow \$ = \$ \cdot \delta^- \\ \text{Se } \$ = 0 &\Leftrightarrow \$ = 0 \end{aligned}$ | (15) |
| Valor total do resíduo corrigido | $\$_{\text{Total}} = W_{\text{Total}} \cdot \$$ | (16) |

FONTE: Cendofanti (2005)

A Tabela 3.5 contém os parâmetros numéricos a serem utilizados no modelo matemático proposto por Cercal (2000).

TABELA 3.5 – ANÁLISE DO RESÍDUO POR VALOR: PARÂMETROS GERAIS

| Relação com o processo | (Ω) | Constância | (K) | $\Delta S^{\%}$ |
|------------------------|--------------|------------|-----|-------------------|
| Intrínseco | 0,8 | Fixo | 1,1 | Máximo = ∞ |
| Semi-intrínseco | 1,0 | Semi-fixo | 1,0 | Mínimo = 50 |
| Extrínseco | 1,2 | Variável | 0,9 | |

FONTE: Cendofanti (2005)

Para a correção do valor unitário do resíduo (\$) utiliza-se a Equação 15 do modelo. Adotou-se o valor igual a um para a variável W_k , por ser tratar de 100% do resíduo gerado para o produto fabricado. Finalizando a análise dos resíduos por valor, com o auxílio da Equação 16, foram calculados os valores de \$total. A ordem de prioridade é determinada pelo resíduo de menor valor de \$total, o qual representa prejuízo para a empresa e deve ser minimizado prioritariamente. Os valores de \$total positivos indicam lucro para a empresa, portanto quanto maior o \$total, maior o lucro. Quando negativo \$total representa prejuízo, logo, a disposição final deste resíduo não é adequada do ponto de vista, não só econômico, mas também ambiental e técnico.

3.2.2.2 Análise do resíduo por risco

Segundo CERCAL (2000), esta análise leva em consideração: (i) danos à saúde humana, funcionários e comunidades adjacentes; (ii) reclamações da vizinhança; (iii) ocorrência de penalidades em decorrência do resíduo; (iv) existência de dados sobre o resíduo e (v) sua periculosidade, de acordo com a NBR 10004 (2004).

Portanto, são feitas quatro perguntas, descritas a seguir, e a partir das respostas é possível valorar esta análise. As perguntas têm critérios variáveis e pesos diferenciados para cada questão (Cercal, 2000).

1. Existem dados reais ou estimados referentes às quantidades de geração e composição do resíduo?

2. Existe relação com a ocorrência de danos à saúde humana que melhor se aplique a existência do resíduo em questão?

3. Existe relação com a ocorrência de reclamações de moradores vizinhos que melhor se aplique a existência do resíduo em questão?

4. Existe relação com a ocorrência de penalidades aplicadas (ou aplicáveis) por instituições públicas que melhor se aplique a existência do resíduo em questão?

A pergunta 1 admite as respostas “sim” ou “não” e para as demais as respostas são “já ocorreu”, “em potencial” ou “isento”. O resíduo é inicialmente classificado como prioritário se tiver resposta “sim” para a pergunta um e/ou “já ocorreu” para uma das perguntas 2, 3 ou 4. Para as respostas “não” e “isento” o modelo atribui o peso “zero” e para as respostas “em potencial” o peso é tabelado, conforme apresentado na Tabela 3.6 (CERCAL, 2000).

TABELA 3.6 – ANÁLISE DO RESÍDUO POR RISCOS: PARÂMETROS

| Classificação do Resíduo | Π | PERGUNTAS | Q_{jk} |
|--------------------------|-------|--------------------------|----------|
| Classe I (Perigoso) | 1 | Existem dados? | --- |
| Classe II-A (Não-inerte) | 2 | Danos à saúde? | 4 |
| Classe II-B (Inerte) | 3 | Reclamações de vizinhos? | 2 |
| | | Penalidades? | 1 |

FONTE: Cendofanti (2000)

A análise por riscos obedece à equação 17, apresentada na Tabela 3.7. Na análise do resíduo por riscos, o resíduo que apresenta maior valor de R, é o mais prioritário.

TABELA 3.7 – EQUAÇÕES PARA A ANÁLISE DE RISCO

| Descrição | Equação | Número |
|-------------------------|--|--------|
| Risco global do resíduo | $R = \left(\sum_{k=1}^p \sum_{j=1}^e \sum_{q=1}^q Q_{jk} \cdot Z_{jk} \cdot W_k \right) \div \Pi$ | (17) |

FONTE: Adaptado de Cercal (2000)

3.2.2.3 Análise do resíduo por facilidade de minimização

Nesta análise é considerada a disponibilidade de recursos técnicos, humanos e financeiros para a minimização. Assim como no caso de análise por

riscos a análise por facilidade de minimização é feita com base em perguntas, porém aqui são aceitas apenas as respostas SIM ou NÃO e os pesos também são diferenciados. Na Tabela 3.8 têm-se as questões com os respectivos pesos. Como os pesos da variável Custo de Minimização são maiores para os custos mais altos, temos um somatório positivo das perguntas, então multiplicamos pelo custo. Em contrapartida, se temos um somatório negativo das perguntas dividimos pelo custo (CERCAL, 2000). Neste caso quanto menor for o valor obtido mais fácil será para minimizá-lo.

TABELA 3.8 – PARÂMETROS PARA ANÁLISE POR FACILIDADE DE MINIMIZAÇÃO

| Questão | Peso | CUSTO | CMjk |
|-------------------------|--------|-------------|------|
| Parar equipamento? | 01 | Muito alto | 4 |
| Parar processo? | 02 | Alto | 3 |
| Parar unidade? | 03 | Baixo | 2 |
| Modificar equipamento? | 02 | Muito baixo | 1 |
| Modificar processo? | 04 | | |
| Modificar unidade? | 06 | | |
| Implantar equipamento? | 04 | | |
| Implantar processo? | 08 | | |
| Implantar unidade? | 12 | | |
| Tecnologia Disponível? | - 10,1 | | |
| Mão de Obra Disponível? | - 7,1 | | |
| Recursos Disponíveis? | - 15,1 | | |

FONTE: Adaptado de Cercal (2000)

A análise por facilidade de minimização segue as Equações 18 e 19 da Tabela 3.9.

TABELA 3.9 – EQUAÇÕES PARA A FACILIDADE DE MINIMIZAÇÃO

| Descrição | Equação | Número |
|--|--|--------|
| Facilidade de minimização global do resíduo para $\sum F_{jk} > 0$ | $F = \sum_{k=1}^p \sum_{j=1}^e (\sum_{f=1}^f F_{jk} \times CM_{jk}) \cdot Z_{jk} \cdot W_k \quad \text{se } \sum F_{jk} > 0$ | (18) |
| Facilidade de minimização global do resíduo para $\sum F_{jk} < 0$ | $F = \sum_{k=1}^p \sum_{j=1}^e (\sum_{f=1}^f F_{jk} \div CM_{jk}) \cdot Z_{jk} \cdot W_k \quad \text{se } \sum F_{jk} < 0$ | (19) |

FONTE: Adaptado de Cercal (2000)

Este modelo matemático tem sido usado com frequência em estudos de minimização de resíduos, com resultados consistentes e relevantes. Pesquisas

realizadas por Leite (2003), Cendofanti (2005), Grubhofer (2006) e Souza (2005), este último com resíduos químicos de laboratórios universitários, indicaram o modelo como uma ferramenta adequada e flexível a qualquer tipo de indústria ou processo. O modelo matemático pode ser visualizado resumidamente na Figura 3.4.

| MODELO MATEMÁTICO DE PRIORIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE CERCAL (2000) | | | |
|---|---|--|--|
| ANÁLISE | VARIÁVEIS CENTRAIS | FÓRMULA | RESPOSTA |
| VALOR | <ul style="list-style-type: none"> - Quantidade de resíduo - Constância - Relação com o processo - Aspectos econômicos, ambientais e de destinação final | $\$' = \$^+ - \$_B - \$_T - \$_{TD} - \$_{GP} + \$^+ R$ $\delta^- = (1 - \xi) / (K \cdot Q)$ $\delta^+ = (1 + \xi) / (K \cdot Q)$ $\$_{Total} = W_{Total} \cdot \$$ | Quanto menor $\$_{Total}$, mais prioritário é o resíduo |
| RISCO | <ul style="list-style-type: none"> - Danos à saúde - Reclamações da vizinhança - Ocorrência de penalidades - Periculosidade | $R = \sum_{k=1}^p \sum_{j=1}^e \sum_{q=1}^q Q_{jk} \cdot Z_{jk} \cdot W_k \div \Pi$ | Quanto maior R, mais prioritário é o resíduo |
| FACILIDADE DE MINIMIZAÇÃO | <ul style="list-style-type: none"> - Parar equipamento - Parar processo - Parar unidade - Modificar equipamento - Modificar processo - Modificar unidade - Implantar equipamento - Implantar processo - Implantar unidade - Tecnologia disponível - Mão-de-obra disponível - Recursos disponíveis - Custo para minimização | $F = \sum_{k=1}^p \sum_{j=1}^e \left(\sum_{f=1}^f F_{jk} \cdot CM_{jk} \right) \cdot Z_{jk} \cdot W_k$ <p style="text-align: center;">Se $\sum F_{jk} > 0$</p> $F = \sum_{k=1}^p \sum_{j=1}^e \left(\sum_{f=1}^f F_{jk} \div CM_{jk} \right) \cdot Z_{jk} \cdot W_k$ <p style="text-align: center;">Se $\sum F_{jk} < 0$</p> | Quanto menor F, mais prioritário é o resíduo |

FIGURA 3.4 – RESUMO DO MODELO DE PRIORIZAÇÃO DE CERCAL (2000)

3.2.3 Metodologia para a caracterização e reaproveitamento dos resíduos

Após a definição dos resíduos prioritários a serem minimizados, foram levantadas as características físico-químicas de alguns desses materiais para o reaproveitamento das matérias-primas constituintes, dando ênfase a um ou dois resíduos. Segundo Metcalf & Eddy (2003), os materiais podem ser reutilizados ou reciclados de acordo com suas características físico-químicas.

Para o reaproveitamento de resíduos para a construção civil, foram elaborados corpos de prova com diferentes combinações, visando encontrar a

combinação ótima em termos de absorção de água e resistência à compressão, segundo as normas técnicas brasileiras.

Segundo Neville (1997), a maioria das características desejáveis do concreto está relacionada com a resistência. Silva (1992) destaca a importância da relação água/concreto, pois a maioria dos defeitos relacionados à resistência do concreto é decorrente do excesso de água presente. Segundo Lima (1999), concretos com reciclado apresentam, em geral, resistência à compressão menor ou igual à dos concretos convencionais para consumos de cimento médios ou altos. Para baixos consumos, podem apresentar resistência maior que os convencionais. A diferença entre a resistência à compressão de concretos com reciclado e convencionais varia com o tipo de reciclado, sua qualidade e com o consumo de cimento.

Segundo Petrucci (1993), a influência dos agregados miúdos na resistência é devida a granulometria, sendo que o agregado graúdo influencia em função de sua forma e textura do grão. No caso dos agregados miúdos, quanto mais finos, mais superfícies específicas terão, exigindo assim, uma maior quantidade de água para molhar os grãos e, conseqüentemente, diminuindo a resistência.

A etapa de reaproveitamento exigiu uma caracterização dos materiais, para avaliar as composições químicas, toxicológicas, mineralógicas e morfológicas, assim como as características mecânicas.

Para os testes de reaproveitamento, foi usado o lodo físico-químico da ETE, acrescido de cinzas de queima de madeira e resíduo de produção de cal. Esta etapa exigiu três meses de envolvimento, desde a confecção dos corpos de prova até os últimos testes de resistência à compressão, absorção à água, DRX, FRX, MEV-EDS, ATD e TG. A amostragem foi realizada em conformidade com a NBR 10.007 (2004), constituindo-se uma amostra representativa.

3.2.3.1 Análise de absorção de água

Para o ensaio de absorção de água por imersão (Abs_{cp}), foram empregados três corpos de prova para cada uma das cinco composições, para a idade de 28 dias, conforme definido na norma NBR 9.778 (ABNT, 2005).

Que é fornecida pela fórmula:

$$Abs_{cp} = \frac{(m_{sat} - m_s)}{m_s} \times 100 \quad (20)$$

Onde:

m_{sat} = massa do cp saturado

Unidade: %

m_s = massa do cp seco

3.2.3.2 Análise de resistência à compressão

A resistência à compressão pode ser definida como a tensão que ao ser atingida provoca no elemento um estado limite último (MAIDA, 1989), significando, assim, a pressão máxima suportada pelo corpo de prova.

A resistência à compressão é uma propriedade de grande importância na engenharia civil, pois traduz de certa forma a qualidade do material, estando diretamente relacionada à sua estrutura interna.

Os valores obtidos nos ensaios de ruptura dos corpos-de-prova fornecem seu desempenho em termos mecânicos e conseqüente durabilidade (CORRÊA, 2005).

O preparo dos corpos de prova, para análises da resistência à compressão e absorção à água, foi realizado no Laboratório de Tecnologia Ambiental – LTA.

As dimensões trabalhadas dos corpos de prova foram definidas em função do tipo de moldagem e equipamentos disponíveis. O molde utilizado na confecção dos corpos de prova foi fabricado em aço, material não absorvente e quimicamente inerte aos resíduos trabalhados, com as seguintes dimensões internas: 20 x 60 mm, conforme Figura 3.5.



FIGURA 3.5 – MOLDE DE AÇO PARA CONFECÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

Tendo em vista os recursos disponíveis, foi utilizada uma prensa manual para a sua compactação. A pressão empregada para a pré-carga foi de 400 kg e para minimizar a variabilidade dos dados, todos os corpos de prova foram moldados pela mesma pessoa. Após o tempo de cura de cada composição, os corpos de provas, num total de três, foram submetidos ao teste de resistência à compressão.

O rompimento dos corpos de prova foi realizado na prensa EMIC do Laboratório de Departamento de Engenharia Mecânica da UFPR.

Somente uma das composições dos corpos de prova foi submetida aos testes de raios X, análises térmicas e de microscopia eletrônica, pois a mudança de estrutura interna ocorrerá de maneira similar em todas as composições. Nesta pesquisa, optou-se em utilizar os corpos de prova da composição cinco.

3.2.3.3 Análise de difratometria de raios X – DRX

Na técnica de difração de raios-X foi utilizado um difratômetro marca Philips, modelo PW 1830, com ânodo de cobre K-alfa, $1,5405\text{\AA}$, com tensão de 40 KV, corrente de 40 mA e ângulo de varredura 2θ variou de 3° a 70° , com passo igual a 2° θ/min . Na técnica de fluorescência de raios X foi utilizado um equipamento de fluorescência Philips modelo PW 2400.

Empregou-se a difração de raios X com a finalidade de identificar as fases cristalinas do material em questão, pois esta análise oferece um modo conveniente

para determinar a análise mineralógica dos sólidos cristalinos. Se um mineral é exposto a raios X de um comprimento de onda específico, as camadas de átomos difratam os raios e produzem um padrão de picos que é característico do mineral. A escala horizontal (ângulo de difração) de um padrão DRX típico fornece o espaçamento do arranjo cristalino, e a escala vertical (altura do pico) fornece a intensidade do raio difratado. Quando a amostra bombardeada com raios X tem mais de um mineral, a intensidade de picos característicos dos minerais individuais é proporcional às suas quantidades.

3.2.3.4 Análise de fluorescência de raios X semi-quantitativa – FRX

Dentro do contexto das novas técnicas analíticas instrumentais, a espectrometria de fluorescência de raios-X ocupa um lugar de destaque, especialmente para aquelas áreas em que a obtenção de rápido perfil de constituintes metálicos e não-metálicos é indispensável. Existem exemplos em aplicações industriais no controle de qualidade de seus produtos e também em análises exploratórias de geologia, arqueologia e ciência dos materiais. A análise de FRX facilita grande parte destas determinações, pois esta técnica possui características diferenciadas, como: (i) determinar multi elementos simultâneos (de sódio até urânio); (ii) flexibilidade para análise qualitativa e quantitativa; (iii) operação com amostras sólidas e líquidas; (iv) não apresenta caráter destrutivo; e (v) não se detém à forma química em que as espécies de interesse se encontram (NAGATA; BUENO; PERALTA-ZAMORA, 2001).

Segundo os mesmos autores, a FRX pode ser classificada como uma técnica de emissão atômica, fundamentada no efeito fotoelétrico. Como este processo envolve níveis de energia que são característicos de cada elemento, a radiação emitida para cada transição é também característica. Desta maneira, a energia da radiação emitida pode ser diretamente utilizada na identificação da espécie em questão. Por outro lado, como a intensidade da radiação emitida é diretamente proporcional à concentração da espécie, a técnica também fornece informações que podem ser utilizadas para fins quantitativos.

Quando se pretende analisar uma amostra totalmente desconhecida, a técnica de FRX também é mais vantajosa, principalmente em função da agilidade na obtenção de dados qualitativos dos constituintes da amostra.

A técnica consiste em preparar o material e submetê-lo a feixes de raios X e posteriormente avaliar as composições químicas das amostras. Para o preparo, as amostras são secas a 100-110°C, pulverizadas e em seguida preparadas em formato de pastilha para a incidência dos raios.

3.2.3.5 Análise de microscopia eletrônica de varredura – MEV

Segundo Picon, Almeida, Oliveira e Guastaldi (2006), a análise de microscopia eletrônica de varredura – MEV possibilita a observação e o registro de imagens tridimensionais detalhadas. Nesta técnica, um feixe de elétrons atravessa uma coluna de vácuo e incide, de forma oblíqua, na superfície da amostra. A superfície é então estudada de forma rasteira repetidamente, liberando elétrons secundários. A profundidade com que o elétron penetra a superfície promove emissões secundárias que é função da voltagem de aceleração e da densidade da amostra (AGUILERA; STANLEY, 1999).

O sistema de EDS (Energy Dispersive System) pode ser incorporado ao MEV com o objetivo de determinar a composição química qualitativa e semiquantitativa das amostras, por meio da emissão de raios X (DUARTE; JUCHEM; PULZ; BRUM; CHODUR; LICCARDO; FISCHER; ACAUAN, 2003). Para esta análise, foram utilizadas amostras retiradas das matérias-primas e dos corpos de prova rompidos nos ensaios de resistência à compressão.

Utilizou-se um Microscópio Eletrônico de Varredura, marca FEI, modelo quanta 200 ambiental, resolução de 140.000 vezes com padrão de ouro, equipado com EDS, marca Oxford, modelo 6427, com resolução de 137 eV e as imagens obtidas foram registradas em arquivo digital.

3.2.3.6 Análise térmica gravimétrica – TG

A termogravimetria é a técnica na qual a mudança da massa de uma substância é medida em função da temperatura enquanto é submetida a uma programação controlada. Seus resultados são obtidos a partir de gráficos nos quais a ordenada representa a porcentagem em massa e a abscissa sinaliza a temperatura.

As análises térmicas foram realizadas num equipamento Mettler Toledo, modelo TS0801RO, no Laboratório de Análises de Minerais e Rochas – LAMIR.

3.2.3.7 Análise térmica diferencial – ATD

A ATD é a técnica que, enquanto a substância e o material de referência são submetidos a uma programação controlada de temperatura, analisa a diferença de temperatura entre a substância e o material de referência medida em função da temperatura. Esta técnica pode ser descrita tomando como modelo a análise de um programa de aquecimento. Ao longo do programa de aquecimento as temperaturas da amostra e da referência se mantêm iguais até que ocorra alguma alteração química ou física na amostra. Se a reação for endotérmica, a amostra irá absorver calor, ficando por um curto período de tempo, com uma temperatura menor que a referência. Do mesmo modo, se a reação for exotérmica a temperatura da amostra será temporariamente maior que a temperatura de referência.

Alterações na amostra, tais como: fusão, solidificação e cristalização, são então sinalizadas sob a forma de picos. A curva ATD é mostrada tendo o tempo ou a temperatura na abscissa e a variação de temperatura na ordenada. Esta curva representa a derivada da TG. O uso principal da ATD é detectar a temperatura inicial dos processos térmicos e caracterizá-los como endotérmico e exotérmico, reversível ou irreversível, dentre outras.

As análises térmicas foram realizadas num equipamento Mettler Toledo, modelo TS0801RO, no Laboratório de Análises de Minerais e Rochas – LAMIR.

4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Como consequência da metodologia proposta para este trabalho, neste ponto são apresentados os resultados obtidos a partir do levantamento, da quantificação, da priorização e do reaproveitamento dos resíduos produzidos nas unidades de produção de tintas e de impressão de papéis especiais.

4.1 LEVANTAMENTO E QUANTIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS

Na etapa de identificação e levantamento dos resíduos foram encontrados 62 resíduos diferentes na fábrica, sendo cinco líquidos e o restante, sólidos. Vale ressaltar que eventuais resíduos gasosos não foram quantificados.

A produção de resíduos na unidade de fabricação de tintas ocorre na utilização de papel crepe para limpeza das mãos, embalagens de matérias-primas, equipamentos de proteção individual (EPI), copos plásticos para amostragem, restos de madeira e embalagens em geral, como tambores, bombonas, papelão, plástico, além de outros.

Quando a tinta processada nos moinhos é UV, a limpeza é realizada com álcool etílico, os resíduos são armazenados num tambor e deixados para decantar. A borra sólida é colocada num tambor de resíduos UV que, posteriormente, é descartado como lixo contaminado em aterro industrial e a parte líquida é reutilizada para outras limpezas subseqüentes, até ser totalmente descartada. A limpeza seguinte é com água, a qual elimina o álcool do sistema de moagem, gerando resíduos líquidos para a ETE.

Na unidade de impressão de papéis, o setor de mistura gera resíduos diversos, como: papel crepe, copo plástico para amostragem, palitos, estopas, papel tarja preta, luvas, etiquetas adesivas, papelão contaminado, papel e água residuária da lavagem dos pisos.

Nas máquinas de impressão, além do verniz à base d'água catalisado, outros resíduos são gerados, como: papel crepe, copos plásticos para análise, palitos, estopas, papel base, papel, papelão, plástico, papel tarja preta, filtro cuno e buchas,

EPI, capa de dupla face, papelão contaminado e papéis impressos. Vale comentar que existem canaletas ao redor das máquinas de impressão para direcionar os resíduos líquidos eventuais.

Os setores, de impregnação e laboratório de papel, contribuem com a geração dos seguintes resíduos: água residuária, papel crepe, papéis impressos, papel, plástico, etiquetas adesivas, estopas, copos plásticos para análise, palitos, EPI, cinzas, serragem, lâminas de estilete, lixas e papelão contaminado.

Quando o papel decorativo é repassado na rebobinadeira, sobra o papel de acerto no tubete. Se esta sobra é pequena, o papel de acerto é retirado para prensagem e descarte, mas o tubete é reaproveitado, dependendo das condições para reuso. Entretanto, se a sobra for grande não se retira do tubete, devido à perda de tempo embutida. Além desses, outros resíduos são gerados neste setor, como: papel, plástico, papelão, capa de fita dupla face, etiquetas adesivas, papel impresso BP e FF.

No setor de lavagem, os cilindros passam por uma banheira com produto químico, permanecem por, no máximo, 30 minutos, e, posteriormente, são secos e embalados para serem armazenados no estaleiro. No setor de lavagem surgem resíduos como: água residuária, papel crepe, estopas, papel, plástico e EPI.

A máquina piloto gera resíduo como: papel crepe, tintas, copos plásticos para análise, palitos, estopas, papel, papelão, plástico, papel tarja preta, EPI, resíduos de AP, capa de dupla face, papelão contaminado, *foam* e papéis impressos.

O setor de manutenção industrial serve a todos os demais setores, concentrando resíduos de sucata de metal, lâmpadas, vidro, óleo, pilhas e baterias, além de papel, plástico, estopas, plástico contaminado e EPI gerados pelo próprio setor. Na expedição são gerados resíduos como: papel, plástico, papelão e EPI.

Dentre todos os setores, o de limpeza é o que tem maior contribuição nos resíduos líquidos para a ETE, pois são lavados tachos, contêineres, facas, filtro de tintas e vernizes, dentre outros. Os resíduos sólidos deste setor são: papel crepe, plástico, filtro, EPI, estopas, etiquetas adesivas.

Os resíduos estão codificados e identificados na Tabela 4.1.

TABELA 4.1 – CODIFICAÇÃO E IDENTIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS

continua

| Código | Descrição | Origem |
|---------------|---------------------------------------|--|
| R01 | Aglomerados impregnados | Teste da aplicação do produto |
| R02 | Água com solvente | Lavagem dos moinhos |
| R03 | Água residuária | Limpeza em geral (máquinas e pisos) |
| R04 | Algodão | Testes de qualidade |
| R05 | Bombonas plásticas | Embalagem |
| R06 | Capa de fita dupla face | Máquinas de impressão e Embalagem |
| R07 | Cintas plásticas | Embalagem de matérias-primas |
| R08 | Cinzas | Análise de papéis |
| R09 | Contêineres | Armazenamento de tintas |
| R10 | Copo plástico | Café e água |
| R11 | Copo plástico com tinta à base d'água | Amostragem |
| R12 | Copo plástico com tinta base UV | Amostragem |
| R13 | Descarte de verniz | Máquina de impressão |
| R14 | Embalagens de papelão contaminado | Pigmentos e cargas minerais |
| R15 | Embalagens de plástico contaminado | Pigmentos e cargas minerais |
| R16 | EPI | Setores em geral |
| R17 | Esgotos sanitários | Banheiros em geral |
| R18 | Estopas | Limpeza em geral |
| R19 | Etiquetas adesivas | Identificação em geral |
| R20 | Filtro cunho e buchas | Filtragem de tintas e lavagem em geral |
| R21 | Filtro de tinta e verniz | Filtragem de tintas e vernizes |
| R22 | Foam | Pesquisa e desenvolvimento |
| R23 | Lâmpadas | Setores em geral |
| R24 | Lixas | Testes de qualidade |
| R25 | Lixo de banheiros | Banheiros em geral |
| R26 | Lixo orgânico | Refeitório e copas |
| R27 | Lodo biológico da ETE | Tanque de aeração |
| R28 | Lodo físico-químico da ETE | Tratamento físico-químico da ETE |
| R29 | Lonas do filtro | Filtro prensa da ETE |
| R30 | Madeira | Embalagens e paletes |
| R31 | Metal | Sucata em geral |
| R32 | Óleo industrial | Máquinas e empilhadeiras |
| R33 | Palitos com tinta à base d'água | Controle de qualidade |
| R34 | Palitos com tinta UV | Controle de qualidade |
| R35 | Papéis impressos – fardos e mantas | Rebobinadeira |
| R36 | Papel de acerto | Ajuste de máquina |
| R37 | Papel crepe com tinta à base d'água | Fabricação e CQ das tintas |

conclusão

| Código | Descrição | Origem |
|---------------|---|-------------------------------|
| R38 | Papel crepe com tinta UV | Fabricação e CQ das tintas |
| R39 | Papel impresso molhados | Quebra do papel na máquina |
| R40 | Papel impresso com tinta UV | Controle de qualidade |
| R41 | Papel limpo | Escritório e produção |
| R42 | Papel pudal - tarja preta | Controle de qualidade |
| R43 | Papelão contaminado do chão | Limpeza |
| R44 | Papelão limpo | Setores em geral |
| R45 | Pilhas e baterias | Setores em geral |
| R46 | Plástico limpo | Setores em geral |
| R47 | Plásticos com tinta à base d'água | Tachos de tintas |
| R48 | Plásticos com tinta UV | Tachos de tintas |
| R49 | Potes plásticos com tinta à base d'água | Amostragem e CQ |
| R50 | Potes plásticos de análise com tinta UV | Amostragem e CQ |
| R51 | Resíduos de AP | Aplicação do produto |
| R52 | Resíduos de jardinagem | Gramados |
| R53 | Resíduos de tintas UV | Limpeza do moinho de tinta UV |
| R54 | Resina melamínica | Aplicação do produto |
| R55 | Serragem | CQ |
| R56 | Sucata de papel (papel base) | Ajuste de máquina |
| R57 | Tambores para descarte | Matérias-primas |
| R58 | Tambores para reaproveitamento | Matérias-primas |
| R59 | Tintas | CQ e <i>baby line</i> |
| R60 | Tubeletes e rolos de fita | Diversos setores |
| R61 | Varrição | Setores em geral |
| R62 | Vidro | Setores em geral |

O detalhamento dos resíduos industriais é apresentado a seguir:

- aglomerados impregnados com resina e papel decorativo – estes resíduos são provenientes do laboratório de papel, onde o papel impresso é impregnado com resina no aglomerado para ser testada a sua aplicação final pelo cliente;
- água com solvente – este resíduo provém da lavagem dos moinhos de tinta UV;
- água residuária – com exceção da água pluvial e esgotos sanitários, todos os demais resíduos líquidos provenientes da área industrial. Basicamente

formada por água contaminada com tintas;

- algodão – resíduo proveniente do teste de resistência a produtos químicos do laboratório de papel;
- bombonas plásticas – recipientes de aditivos utilizados na fabricação de tintas e vernizes;
- capa de fita dupla face – utilizada principalmente nas máquinas de impressão para unir final e início de produção ou papel de acerto no papel base;
- cintas plásticas – provenientes de embalagens de papelão;
- cinzas – provenientes da análise de cinzas nos papéis base;
- contêineres – embalagens danificadas, usadas nos setores de fabricação e sala de tintas;
- copo plástico – proveniente de diversos setores, usados para café e água mineral;
- copo plástico com tinta à base d'água – usados para amostragem no laboratório de tintas e vernizes e para acerto de cor nas máquinas de impressão;
- copo plástico com tinta base UV – usados para amostragem no laboratório de tintas e vernizes;
- descarte de verniz – proveniente da máquina de impressão 1, sobras de verniz catalisado;
- embalagens de papelão contaminado – provenientes das embalagens de pigmentos, usados na fabricação de tintas;
- embalagens de plástico contaminado – provenientes das embalagens de pigmentos, usados na fabricação de tintas;
- EPI – proveniente de diversos setores, formado principalmente por luvas de látex;
- esgotos sanitários – provenientes das bacias e pias sanitárias, além dos chuveiros, são direcionados para o tanque de aeração na ETE;
- estopas – provenientes de diversos setores, usadas para limpeza de tintas, vernizes e óleos em geral;
- etiquetas adesivas - proveniente de diversos setores, usada para identificação em tambores, *contêineres*, dentre outros;
- filtro cuno e buchas – provenientes das máquinas de impressão, na

filtração das tintas e na limpeza das peças de máquina;

- filtro de tinta e verniz – proveniente das máquinas de impressão, na filtração das tintas e vernizes;
- *foam* – restos de isopor utilizados para embalar amostras de papel impresso em desenvolvimento;
- lâmpadas – lâmpadas queimadas provenientes da fábrica em geral;
- lixas – provenientes do teste de resistência à abrasão;
- lixo de banheiros – papel higiênico e papel toalha;
- lixo orgânico – restos de alimentos do refeitório e das copas;
- lodo biológico da ETE – lodo em excesso do processo aeróbio da ETE;
- lodo físico-químico da ETE – lodo do processo de tratamento físico-químico da ETE;
- lonas do filtro prensa – lonas de tecido filtrante;
- madeira – caixotes de cilindros, restos de madeiras de paletes e outras embalagens;
- metal – baldes de metal, tampas metálicas, sucata de materiais de iluminação;
- óleo industrial – restos de óleos das máquinas e empilhadeiras;
- palitos com tinta à base d'água – palitos usados para amostragem de tintas e vernizes à base d'água no LTV e no acerto de cor nas máquinas de impressão e na sala de tintas;
- palitos com tinta UV – palitos usados para amostragem de tintas e vernizes UV;
- papéis impressos (fardos e mantas) – papéis impressos proveniente das máquinas 1 e 2, mas principalmente da rebobinadeira. Os refilos e as sobras de papel são prensados para formar os fardos e as mantas são várias folhas de papel fora de especificação retiradas da bobina e são dobradas para facilitar o manuseio;
- papel de acerto – papel de qualidade inferior ao papel base, é usado para ajuste de cor nas máquinas de impressão. Permanece na bobina e é descartado como sucata de papel juntamente com o papel impresso fora de especificação;
- papel crepe com tinta à base d'água – papel toalha usado na limpeza de mãos, equipamentos, chão ou bancada contaminados com tinta à base

d'água;

- papel crepe com tinta UV – papel toalha usado na limpeza de mãos, equipamentos, chão ou bancada contaminados com tinta UV;
- papel impresso com tinta à base d'água – papel BP ou FF usados nas análises no LTV ou proveniente da quebra de papel nas máquinas de impressão, geralmente molhados com tinta ou verniz;
- papel impresso com tinta UV – papel BP ou FF usados nas análises no LTV;
- papel limpo – proveniente da fábrica em geral, mas principalmente da área administrativa;
- papel pudal - tarja preta – papel especial usado para comparar as tintas com o seu padrão, no LTV, na sala de tintas e na *baby line*;
- papelão contaminado do chão – papelão recoberto com verniz usado para proteger o chão próximo as máquinas de impressão e o balcão da impregnação;
- papelão limpo – proveniente das embalagens de insumos usados na fabricação de tintas, e também das bobinas de papel base e de acerto;
- pilhas e baterias – provenientes da fábrica em geral;
- plástico limpo – proveniente das embalagens de insumos usados na fabricação de tintas, e também das bobinas de papel base e de acerto;
- plásticos com tinta à base d'água – são plásticos colocados em cima de tachos de tintas à base d'água com a finalidade de evitar respingos durante a agitação, tanto no setor de fabricação quanto nas máquinas de impressão;
- plásticos com tinta UV – são plásticos colocados em cima de tachos de tintas UV com a finalidade de evitar respingos durante a agitação, tanto no setor de fabricação quanto nas máquinas de impressão;
- potes plásticos de análise com tinta à base d'água – são potes usados para amostragem e análises de tintas à base d'água no laboratório de tintas e vernizes;
- potes plásticos de análise com tinta UV – são potes usados para amostragem e análises de tintas UV no laboratório de tintas e vernizes;
- resíduos de AP – são resíduos provenientes da guilhotina usada para cortar a placa de AP, após a aplicação do produto final, papel BP. A qual

é formada pela prensagem do papel fundo da empresa, *over-lay*, 3 folhas de papel Kraft e pelo papel impresso;

- resíduos de jardinagem – proveniente da jardinagem realizada ao redor do site fabril;
- resíduos de tintas UV – proveniente da lavagem do moinho UV, resíduo composto por uma parte sólida e outra líquida. Esta última pode ser reutilizada várias vezes. Portanto, o resíduo decantado é constituído principalmente por borra de tinta UV;
- resina melamínica – proveniente do setor de impregnação, após cinco horas ela começa a polimerizar perdendo as características para sua aplicação no teste de qualidade;
- serragem – proveniente do laboratório de papel no corte circular dos aglomerados;
- sucata de papel com tubetes – corresponde apenas ao papel base fora de especificação;
- tambores para descarte – são tambores de matéria-prima, geralmente resinas, que são separados para descarte, pois têm tampa fixa e, por isso, dificultam o reaproveitamento interno;
- tambores para reaproveitamento – são tambores separados para o reaproveitamento interno no descarte de resíduos;
- tintas – provenientes da sala de tintas e da *baby line*. Na sala de tintas são bases misturadas, que anteriormente eram usadas como padrão comparativo para a nova formulação. Na máquina de desenvolvimento, também são bases misturadas, porém obsoletas ou fora de especificação;
- tubete e rolo de fita – são materiais feitos de papelão, o primeiro proveniente de bobinas de papéis base e de acerto, os pedaços de tubetes cortados de acordo com a largura especificada pelo cliente. O segundo, proveniente de rolo de fita dupla face, fita crepe ou adesiva.
- varrição – pequenos resíduos como poeiras e pedaços de materiais provenientes da varrição da fábrica em geral;
- vidro – proveniente de qualquer setor da fábrica. Resíduo em quantidade bastante reduzida.

Determinados resíduos não são gerados em apenas um único setor, mas podem ser provenientes de diversos setores, como, por exemplo, as estopas, as quais são geradas no setor de fabricação de tintas e vernizes, nas máquinas de impressão, na manutenção, nos laboratórios, na sala de tintas e na limpeza de cilindros. A Figura 4.1 indica o número de resíduos diferentes em cada setor industrial.

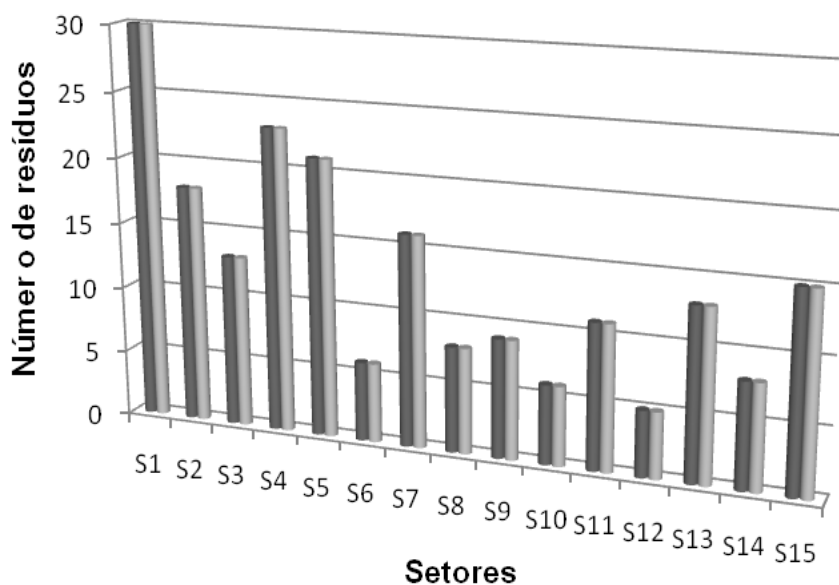


FIGURA 4.1 – QUANTIDADE DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS POR SETOR

Os setores que possuem a maior diversidade em número de resíduos são: S1 (FTV), S4 (IP) e S15 (ETE), conforme definidos na Tabela 3.1. O setor de impressão de papel (S4) é responsável por, aproximadamente, 51,3% em peso, do total de resíduos. Enquanto o setor de fabricação de tintas (S1) por 13,5% e a ETE (S15) por 22,8%, sendo estes três setores os maiores geradores de resíduos nesta fábrica.

Os resíduos líquidos foram quantificados em volume (litros) admitindo a densidade igual a 1.000 kg/m^3 , para simplificação e homogeneização dos dados.

4.2 HIERARQUIZAÇÃO DOS RESÍDUOS INDUSTRIAIS

Com o auxílio da ficha de caracterização as variáveis do modelo foram identificadas e determinadas, em campo, para cada um dos resíduos citados na Tabela 4.1. Um exemplo da utilização das variáveis e dos parâmetros das fórmulas, apresentadas no capítulo anterior, está no anexo 03.

4.2.1 Análise dos resíduos por valor

Com a finalidade de sintetizar as informações e de esclarecer a determinação das classes de destinação e os parâmetros matemáticos dos resíduos encontrados na empresa, os destinos foram resumidos, em: reuso, venda, pagamento pela disposição, doação, reciclagem, ETE, aterro industrial ou do Caximba ou destino inadequado, conforme indicado na Tabela 4.2.

TABELA 4.2 – CLASSES E PARÂMETROS ENCONTRADOS NA EMPRESA

| Destino | N° de resíduos | Classe | $D^{S/N}_{\$+}$ | $D^{S/N}_{\$B}$ | $D^{S/N}_{\$T}$ | $D^{S/N}_{\$TD}$ | $D^{S/N}_{\$GP}$ | $D^{S/N}_{\$R}$ | ξ_B |
|-----------------|----------------|--------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|-----------------|---------|
| Reuso | 2 | 1-A | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | +1,00 |
| Venda | 8 | 2-D | 0 | 0 | 0/1* | 0 | 1 | 1 | +0,82 |
| Disposição paga | 1 | 3-D | 0 | 0/1* | 0 | 0 | 1 | 1 | +0,72 |
| Doação | 5 | 4-D | 0 | 0 | 0/1* | 0 | 1 | 1 | +0,20 |
| Reciclagem | 1 | 5-A | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | -0,20 |
| ETE | 3 | 5-B | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | -0,40 |
| Aterro | 41 | 5-C | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | -0,60 |
| Inadequado | 1 | 6-C | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | -1,40 |

* Situações onde o frete pode ser pago pela empresa ou por terceiros. Neste caso, o frete é pago pelas empresas terceiras que retiram os resíduos na *Impress*.

A partir do levantamento de informações preliminares foi possível identificar que apenas dois resíduos são direcionados para o reuso direto: tambores para reaproveitamento (R59) e tintas (R60). Os resíduos vendidos para a reciclagem, num total de oito, foram identificados como: bombonas plásticas (R6), contêineres (R10),

metal (R32), papel limpo (R42), papelão limpo (R45), plástico limpo (R47), tambores (R58) e tubetes com rolo de fita (R61). Somente as lâmpadas (R24) são materiais pagos para disposição ou reciclagem. Cinco deles são doados: aglomerados (R1), madeira (R31), óleo industrial (R33), papel de acerto (R37) e sucata de papel (R57). As pilhas e baterias (R46) são encaminhadas para a reciclagem com co-responsabilidade de terceiros. Os resíduos líquidos são encaminhados para a ETE: água com solvente (R2), água residuária (R3) e esgotos sanitários (R18), com exceção das tintas (R59) e do óleo industrial (R32). A maior parte dos resíduos, 66%, está sendo disposta em aterro industrial. Vale ressaltar que, apenas o copo plástico (R11) apresenta destinação ambientalmente inaceitável – aterro industrial – pois não é material contaminado e deveria ser reciclado. As demais destinações precisam ser revistas para uma melhoria contínua na minimização e no reaproveitamento de resíduos.

É importante ressaltar que, cada resíduo foi tratado como único, portanto os valores de X_{ijk} , Y_{hjk} , Z_{jk} e W_k foram iguais a um, simplificando, assim, as Equações de 01 a 07 da Tabela 3.3. A Tabela 4.3 apresenta os valores médios em relação aos custos e/ou aos retornos obtidos em função das destinações definidas para cada resíduo. Os valores são representados em R\$/kg de resíduo e foram obtidos a partir da Equação 10.

TABELA 4.3 – VARIÁVEIS PARA CÁLCULO DO VALOR UNITÁRIO DO RESÍDUO NÃO CORRIGIDO

continua

| Código | Classe de Destinação | Valor unitário do Resíduo (\$ ⁺) | Custo de Beneficiamento (\$ _B) | Custo de Transporte (\$ _T) | Custo de Tratamento e Disposição (\$ _{TD}) | Custo de Geração e Permanência (\$ _{GP}) | Retorno obtido (\$ ⁺ _R) | \$' |
|--------|----------------------|--|--|--|--|--|--|-----------|
| R01 | 4D | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 |
| R02 | 5B | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,004 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 |
| R03 | 5B | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,004 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 |
| R04 | 5C | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,25 | R\$ 0,03 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | -R\$ 0,28 |
| R05 | 2D | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,05 | R\$ 0,05 |
| R06 | 5C | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,25 | R\$ 0,03 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | -R\$ 0,28 |
| R07 | 5C | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,25 | R\$ 0,03 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | -R\$ 0,28 |
| R08 | 5C | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,25 | R\$ 0,03 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | -R\$ 0,28 |
| R09 | 2D | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,50 | R\$ 0,50 |
| R10 | 6C | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,25 | R\$ 0,03 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | -R\$ 0,28 |
| R11 | 5C | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,25 | R\$ 0,03 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | -R\$ 0,28 |
| R12 | 5C | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,25 | R\$ 0,03 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | -R\$ 0,28 |
| R13 | 5C | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,14 | R\$ 0,04 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | -R\$ 0,18 |

continuação

| Código | Classe de Destinação | Valor unitário do Resíduo (\$ ⁺) | Custo de Beneficiamento (\$ ^B) | Custo de Transporte (\$ ^T) | Custo de Tratamento e Disposição (\$ ^{TD}) | Custo de Geração e Permanência (\$ ^{GP}) | Retorno obtido (\$ ^R) | \$' |
|--------|----------------------|--|--|--|--|--|-----------------------------------|-----------|
| R14 | 5C | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,25 | R\$ 0,32 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | -R\$ 0,57 |
| R15 | 5C | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,25 | R\$ 0,32 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | -R\$ 0,57 |
| R16 | 5C | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,25 | R\$ 0,03 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | -R\$ 0,28 |
| R17 | 5B | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,004 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 |
| R18 | 5C | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,25 | R\$ 0,03 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | -R\$ 0,28 |
| R19 | 5C | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,25 | R\$ 0,03 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | -R\$ 0,28 |
| R20 | 5C | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,25 | R\$ 0,03 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | -R\$ 0,28 |
| R21 | 5C | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,25 | R\$ 0,03 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | -R\$ 0,28 |
| R22 | 5C | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,25 | R\$ 0,03 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | -R\$ 0,28 |
| R23 | 3D | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 3,50 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | -R\$ 3,50 |
| R24 | 5C | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,25 | R\$ 0,03 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | -R\$ 0,28 |
| R25 | 5C | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,21 | R\$ 1,22 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | -R\$ 1,44 |
| R26 | 5C | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,21 | R\$ 1,22 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | -R\$ 1,44 |
| R27 | 5C | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,14 | R\$ 0,03 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | -R\$ 0,17 |
| R28 | 5C | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,14 | R\$ 0,03 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | -R\$ 0,17 |
| R29 | 5C | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,25 | R\$ 0,03 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | -R\$ 0,28 |
| R30 | 4D | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 |
| R31 | 2D | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,30 | R\$ 0,30 |
| R32 | 4D | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 |
| R33 | 5C | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,25 | R\$ 0,03 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | -R\$ 0,28 |
| R34 | 5C | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,25 | R\$ 0,03 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | -R\$ 0,28 |
| R35 | 5C | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,25 | R\$ 0,32 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | -R\$ 0,57 |
| R36 | 4D | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,19 | R\$ 0,19 |
| R37 | 5C | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,25 | R\$ 0,03 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | -R\$ 0,28 |
| R38 | 5C | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,25 | R\$ 0,03 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | -R\$ 0,28 |
| R39 | 5C | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,25 | R\$ 0,03 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | -R\$ 0,28 |
| R40 | 5C | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,25 | R\$ 0,03 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | -R\$ 0,28 |
| R41 | 2D | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,08 | R\$ 0,08 |
| R42 | 5C | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,25 | R\$ 0,03 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | -R\$ 0,28 |
| R43 | 5C | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,25 | R\$ 0,32 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | -R\$ 0,57 |
| R44 | 2D | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,12 | R\$ 0,12 |
| R45 | 5A | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 |
| R46 | 2D | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,12 | R\$ 0,12 |
| R47 | 5C | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,25 | R\$ 0,03 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | -R\$ 0,28 |
| R48 | 5C | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,25 | R\$ 0,03 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | -R\$ 0,28 |
| R49 | 5C | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,25 | R\$ 0,03 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | -R\$ 0,28 |
| R50 | 5C | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,25 | R\$ 0,03 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | -R\$ 0,28 |
| R51 | 5C | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,25 | R\$ 0,32 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | -R\$ 0,57 |
| R52 | 5C | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 |
| R53 | 5C | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,15 | R\$ 0,04 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | -R\$ 0,19 |
| R54 | 5C | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,14 | R\$ 0,04 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | -R\$ 0,18 |
| R55 | 5C | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,25 | R\$ 0,03 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | -R\$ 0,28 |

conclusão

| Código | Classe de Destinação | Valor unitário do Resíduo (\$ ⁺) | Custo de Beneficiamento (\$ ^B) | Custo de Transporte (\$ ^T) | Custo de Tratamento e Disposição (\$ ^{TD}) | Custo de Geração e Permanência (\$ ^{GP}) | Retorno obtido (\$ ^R) | \$' |
|--------|----------------------|--|--|--|--|--|-----------------------------------|-----------|
| R56 | 4D | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,19 | R\$ 0,19 |
| R57 | 2D | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,67 | R\$ 0,67 |
| R58 | 1A | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 |
| R59 | 1A | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,14 | R\$ 0,04 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | -R\$ 0,18 |
| R60 | 2D | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,12 | R\$ 0,12 |
| R61 | 5C | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 |
| R62 | 5C | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 |

Segundo o modelo de Cercal (2000), valores positivos do valor de resíduo não corrigido (\$') representa lucro para a empresa no gerenciamento deste resíduo. Caso contrário, valores negativos representam prejuízo. Dos 62 resíduos desta empresa, somente 21 representam lucro no gerenciamento. Isso realmente indica a necessidade de melhora no gerenciamento de resíduos, pois claramente tem havido perdas financeiras.

Trabalhos realizados anteriormente por Grubhofer (2006), Cendofanti (2005) e Leite (2003), os quais utilizaram o mesmo modelo matemático, não indicam claramente os parâmetros utilizados para o cálculo do valor unitário do resíduo (\$⁺). No decorrer desta pesquisa, identificaram-se duas maneiras para o cálculo desta variável. A primeira, considerando o valor das matérias-primas integrantes no resíduo em questão, como, por exemplo, o papel de acerto, contabilizando a tinta, o verniz, o tubete e o próprio papel. A outra, adotando como nulos todos os valores unitários, visto que são resíduos e não mais possuem "valor" para a empresa. Após a experimentação de várias análises, optou-se por considerar nulos os valores unitários dos resíduos. A definição clara dos parâmetros matemáticos atribuí ao modelo mais confiabilidade na aplicação, diminuindo a interferência do pesquisador/profissional nos resultados finais da hierarquização dos resíduos.

Os custos de geração, permanência e beneficiamento foram adotados como valores nulos. O primeiro devido à utilização do pátio existente, sem custo adicional de locação ou compra de área para esta finalidade. Levando em consideração uma possível estimativa deste custo, os funcionários não souberam valorar se não tivessem esta área disponível. Quanto ao beneficiamento, nenhum resíduo passa por qualquer tipo de beneficiamento.

O custo de tratamento e disposição para os resíduos da ETE foi baseado no custo da mão de obra, dos produtos químicos, da energia e da consultoria ambiental. Os resíduos destinados ao aterro industrial apresentaram custo de tratamento e disposição de R\$ 250,00/ton., com exceção das resinas e dos lodos, que tiveram um custo de R\$ 140,00/ton. O transporte de resíduos por caminhões especiais para o Aterro de Curitiba apresentou um custo aproximado de R\$ 1200,00/ton.

A Tabela 4.4 apresenta os valores das variáveis matemáticas para cada um dos resíduos identificados e, também, o resultado da quantificação em quilogramas de resíduos por ano.

TABELA 4.4 – ANÁLISE DE VALOR: PARÂMETROS MATEMÁTICOS E CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS

continua

| Código | Relação com o Processo (Ω) | Contância de Geração (K_{jk}) | Valor substancial do resíduo (ΔS_i %) | ξ_B | W_{TOTAL} (Kg/ano) |
|--------|-------------------------------------|-----------------------------------|--|---------|----------------------|
| R01 | 1 | 1,1 | 1,0 | 0,20 | 4.907,0 |
| R02 | 0,8 | 0,9 | 2,0 | -0,40 | 570,6 |
| R03 | 0,8 | 0,9 | 2,0 | -0,40 | 1.752.000,0 |
| R04 | 1 | 1,1 | 0,5 | -0,60 | 5,7 |
| R05 | 1 | 1,1 | 1,0 | 0,82 | 1.940,0 |
| R06 | 1 | 0,9 | 1,0 | -0,60 | 326,4 |
| R07 | 1 | 1 | 1,0 | -0,60 | 19,9 |
| R08 | 1 | 1,1 | 0,5 | -0,60 | 0,5 |
| R09 | 1,2 | 1 | 1,0 | 0,82 | 360,0 |
| R10 | 1,2 | 1 | 1,0 | -1,40 | 1.718,6 |
| R11 | 1 | 1,1 | 0,5 | -0,60 | 461,0 |
| R12 | 1 | 1,1 | 0,5 | -0,60 | 59,8 |
| R13 | 1,2 | 1,1 | 0,5 | -0,60 | 19.970,5 |
| R14 | 1 | 1,1 | 1,0 | -0,60 | 9.327,0 |
| R15 | 1 | 1,1 | 1,0 | -0,60 | 603,0 |
| R16 | 1,2 | 1 | 0,5 | -0,60 | 396,7 |
| R17 | 1,2 | 1 | 2,0 | -0,40 | 2.395.000,0 |
| R18 | 1 | 1 | 0,5 | -0,60 | 3.693,2 |
| R19 | 1 | 1 | 0,5 | -0,60 | 111,3 |
| R20 | 0,8 | 1 | 0,5 | -0,60 | 196,3 |
| R21 | 0,8 | 1,1 | 0,5 | -0,60 | 33,8 |
| R22 | 1,2 | 0,9 | 0,5 | -0,60 | 3,4 |
| R23 | 1,2 | 0,9 | 1,0 | 0,72 | 100,0 |
| R24 | 1 | 1,1 | 1,0 | -0,60 | 1,3 |
| R25 | 1,2 | 1 | 0,5 | -0,60 | 1.141,2 |
| R26 | 1,2 | 0,9 | 0,5 | -0,60 | 7.920,0 |
| R27 | 1 | 1,1 | 1,0 | -0,60 | 14.400,0 |

| Código | Relação com o Processo (Ω) | Constância de Geração (K_{K}) | Valor substancial do resíduo ($\Delta S_i\%$) | ξ_B | Conclusão |
|--------|-------------------------------------|--|---|---------|-----------------------------|
| | | | | | W_{TOTAL} (Kg/ano) |
| R28 | 1 | 1,1 | 1,0 | -0,60 | 63.778,8 |
| R29 | 1 | 0,9 | 0,5 | -0,60 | 50,0 |
| R30 | 1 | 0,9 | 1,0 | 0,20 | 7.531,7 |
| R31 | 1,2 | 0,9 | 1,0 | 0,82 | 2.041,1 |
| R32 | 1 | 1 | 1,0 | 0,20 | 648,0 |
| R33 | 1 | 1 | 0,5 | -0,60 | 61,7 |
| R34 | 1 | 1 | 0,5 | -0,60 | 17,2 |
| R35 | 0,8 | 0,9 | 0,5 | -0,60 | 32.256,0 |
| R36 | 0,8 | 0,9 | 0,5 | 0,20 | 154.418,0 |
| R37 | 1 | 0,9 | 0,5 | -0,60 | 2.463,7 |
| R38 | 1 | 0,9 | 0,5 | -0,60 | 220,0 |
| R39 | 0,8 | 0,9 | 0,5 | -0,60 | 3.154,2 |
| R40 | 1 | 1,1 | 0,5 | -0,60 | 48,2 |
| R41 | 1,2 | 0,9 | 1,0 | 0,82 | 979,4 |
| R42 | 0,8 | 1,1 | 0,5 | -0,60 | 96,9 |
| R43 | 0,8 | 0,9 | 1,0 | -0,60 | 2.433,0 |
| R44 | 0,8 | 1,1 | 1,0 | 0,82 | 15.016,7 |
| R45 | 0,8 | 1,1 | 1,0 | -0,20 | 3,4 |
| R46 | 0,8 | 0,9 | 1,0 | 0,82 | 1.783,2 |
| R47 | 0,8 | 1,1 | 0,5 | -0,60 | 199,2 |
| R48 | 1,2 | 0,9 | 0,5 | -0,60 | 55,5 |
| R49 | 1 | 1,1 | 0,5 | -0,60 | 111,6 |
| R50 | 1 | 1,1 | 0,5 | -0,60 | 84,9 |
| R51 | 1 | 1,1 | 0,5 | -0,60 | 789,7 |
| R52 | 1,2 | 1 | 0,5 | -0,60 | 1.200,0 |
| R53 | 0,8 | 1,1 | 0,5 | -0,60 | 1.711,8 |
| R54 | 1 | 1,1 | 0,5 | -0,60 | 1.808,8 |
| R55 | 1 | 0,9 | 0,5 | -0,60 | 26,2 |
| R56 | 0,8 | 1 | 1,0 | 0,20 | 69.372,0 |
| R57 | 1 | 1 | 1,0 | 0,82 | 15.748,1 |
| R58 | 1 | 1 | 1,0 | 1,00 | 7.760,0 |
| R59 | 0,8 | 1,1 | 0,5 | 1,00 | 2.636,3 |
| R60 | 0,8 | 1,1 | 1,0 | 0,82 | 5.249,4 |
| R61 | 1,2 | 1,1 | 0,5 | -0,60 | 180,0 |
| R62 | 1,2 | 0,9 | 1,0 | -0,60 | 5,0 |

Cercal (2000) valorou a relação do resíduo com o processo produtivo (Ω) e a constância de geração (K) e definiu como sendo intrínsecos ao processo ($\Omega=0,8$); semi-intrínsecos ($\Omega=1,0$) e extrínsecos ($\Omega=1,2$). Quanto à constância, considerou fixos ($K=1,1$), semi-fixos ($K=1,0$) e variáveis ($K=0,9$). Porém, esta classificação pode ser bastante subjetiva para resíduos semi-intrínsecos e/ou semi-fixos, podendo

causar variações na aplicação. Com o objetivo de esclarecer a abordagem, nesta pesquisa, os resíduos semi-intrínsecos podem ser sumarizados em resíduos provenientes de: (i) análises de controle de qualidade tanto das matérias-primas como do material acabado; (ii) resíduos de embalagens de matérias-primas; e (iii) resíduos da limpeza do processo industrial. Para a constância de geração dos resíduos semi-fixos, apenas destacar a dependência do fornecedor ou do operador.

Os valores de alteração percentual do valor admissível foram: (i) para líquidos, $\Delta\%_{i=2}$; (ii) para embalagens, lodos e resíduos fora do processo produtivo, $\Delta\%_{i=1}$; e (iii) para resíduos do processo produtivo ou administrativo, $\Delta\%_{i=0,5}$.

Segundo Cercal (2000), os resíduos com $\xi_B > 0$ indicam uma destinação ambientalmente aceitável, mas não necessariamente a melhor. Caso contrário, $\xi_B < 0$, são resíduos com destinações impróprias. Em função dos resultados obtidos, quase 70% dos resíduos foram identificados como destinação imprópria, de acordo com a classificação do modelo.

Os resultados desta análise por valor são apresentados na Tabela 4.5.

TABELA 4.5 – RESULTADOS DA ANÁLISE POR VALOR

continua

| Código | Resíduo | (K*Ω) | ξ | δ ⁺ | δ ⁻ | \$ | \$ _{Total} | Ordem |
|--------|--|-------|-------|----------------|----------------|-------|---------------------|-------|
| R01 | aglomerados impregnados | 1,10 | 0,20 | 1,09 | 0,88 | 0,00 | 0,00 | 52 |
| R02 | água com solvente da lavagem dos moinhos | 0,72 | -0,80 | 0,28 | 1,30 | -0,01 | -2,96 | 40 |
| R03 | água residuária | 0,72 | -0,80 | 0,28 | 1,30 | -0,01 | -9.082,37 | 6 |
| R04 | algodão | 1,10 | -0,30 | 0,64 | 1,43 | -0,40 | -2,26 | 41 |
| R05 | bombonas plásticas | 1,10 | 0,82 | 1,65 | 0,20 | 0,08 | 160,49 | 54 |
| R06 | capa de fita dupla face | 0,90 | -0,60 | 0,44 | 1,44 | -0,40 | -130,03 | 22 |
| R07 | cintas plásticas | 1,00 | -0,60 | 0,40 | 1,60 | -0,44 | -8,79 | 37 |
| R08 | cinzas da análise de papéis | 1,10 | -0,30 | 0,64 | 1,43 | -0,40 | -0,18 | 44 |
| R09 | contêineres | 1,20 | 0,82 | 1,52 | 0,22 | 0,76 | 273,00 | 55 |
| R10 | copo plástico | 1,20 | -1,40 | -0,33 | 2,88 | -0,80 | -1.369,38 | 11 |
| R11 | copo plástico com tinta à base d'água | 1,10 | -0,30 | 0,64 | 1,43 | -0,40 | -182,40 | 20 |
| R12 | copo plástico com tinta base UV | 1,10 | -0,30 | 0,64 | 1,43 | -0,40 | -23,66 | 31 |
| R13 | descarte de verniz | 1,32 | -0,30 | 0,53 | 1,72 | -0,31 | -6.168,48 | 7 |
| R14 | embalagens de papelão contaminado | 1,10 | -0,60 | 0,36 | 1,76 | -1,00 | -9.373,33 | 5 |
| R15 | embalagens de plástico contaminado | 1,10 | -0,60 | 0,36 | 1,76 | -1,00 | -605,99 | 16 |
| R16 | EPI | 1,20 | -0,30 | 0,58 | 1,56 | -0,43 | -171,20 | 21 |
| R17 | esgotos sanitários | 1,20 | -0,80 | 0,17 | 2,16 | -0,01 | -20.692,80 | 1 |
| R18 | estopas | 1,00 | -0,30 | 0,70 | 1,30 | -0,36 | -1.328,31 | 12 |
| R19 | etiquetas adesivas | 1,00 | -0,30 | 0,70 | 1,30 | -0,36 | -40,03 | 28 |
| R20 | filtro cuno e buchas | 0,80 | -0,30 | 0,88 | 1,04 | -0,29 | -56,48 | 26 |

conclusão

| Código | Resíduo | (K*Ω) | ξ | δ ⁺ | δ ⁻ | \$ | \$ _{Total} | Ordem |
|--------|--|-------|-------|----------------|----------------|-------|---------------------|-------|
| R21 | filtro de tinta e verniz | 0,88 | -0,30 | 0,80 | 1,14 | -0,32 | -10,69 | 36 |
| R22 | foam | 1,08 | -0,30 | 0,65 | 1,40 | -0,39 | -1,33 | 42 |
| R23 | lâmpadas | 1,08 | 0,72 | 1,59 | 0,30 | -1,06 | -105,84 | 23 |
| R24 | lixa | 1,10 | -0,60 | 0,36 | 1,76 | -0,49 | -0,61 | 43 |
| R25 | lixo de banheiros | 1,20 | -0,30 | 0,58 | 1,56 | -2,24 | -2.558,02 | 9 |
| R26 | lixo orgânico | 1,08 | -0,30 | 0,65 | 1,40 | -2,02 | -15.977,97 | 4 |
| R27 | lodo biológico da ETE | 1,10 | -0,60 | 0,36 | 1,76 | -0,29 | -4.224,00 | 8 |
| R28 | lodo físico-químico da ETE | 1,10 | -0,60 | 0,36 | 1,76 | -0,29 | -18.708,46 | 2 |
| R29 | lonas do filtro prensa | 0,90 | -0,30 | 0,78 | 1,17 | -0,32 | -16,19 | 35 |
| R30 | madeira | 0,90 | 0,20 | 1,33 | 0,72 | 0,00 | 0,00 | 50 |
| R31 | metal | 1,08 | 0,82 | 1,69 | 0,19 | 0,51 | 1.031,89 | 57 |
| R32 | óleo industrial | 1,00 | 0,20 | 1,20 | 0,80 | 0,00 | 0,00 | 51 |
| R33 | palitos com tinta à base d'água | 1,00 | -0,30 | 0,70 | 1,30 | -0,36 | -22,20 | 32 |
| R34 | palitos com tinta UV | 1,00 | -0,30 | 0,70 | 1,30 | -0,36 | -6,20 | 39 |
| R35 | papéis impressos BP e FF - fardos e mantas | 0,72 | -0,30 | 0,97 | 0,94 | -0,53 | -17.239,56 | 3 |
| R36 | papel de acerto | 0,80 | 0,10 | 1,38 | 0,72 | 0,26 | 40.341,70 | 62 |
| R37 | papel crepe com tinta à base d'água | 0,90 | -0,30 | 0,78 | 1,17 | -0,32 | -797,49 | 14 |
| R38 | papel crepe com tinta UV | 0,90 | -0,30 | 0,78 | 1,17 | -0,32 | -71,22 | 24 |
| R39 | papel impresso com tinta à base d'água | 0,72 | -0,30 | 0,97 | 0,94 | -0,26 | -816,81 | 13 |
| R40 | papel impresso com tinta UV | 1,10 | -0,30 | 0,64 | 1,43 | -0,40 | -19,05 | 34 |
| R41 | papel limpo | 1,08 | 0,82 | 1,69 | 0,19 | 0,13 | 132,04 | 53 |
| R42 | papel pudal - tarja preta | 0,88 | -0,30 | 0,80 | 1,14 | -0,32 | -30,68 | 30 |
| R43 | papelão contaminado do chão | 0,72 | -0,60 | 0,56 | 1,15 | -0,66 | -1.600,40 | 10 |
| R44 | papelão limpo | 0,88 | 0,82 | 2,07 | 0,16 | 0,25 | 3.726,86 | 59 |
| R45 | pilhas e baterias | 0,88 | -0,20 | 0,91 | 1,06 | 0,00 | 0,00 | 49 |
| R46 | plástico limpo | 0,72 | 0,82 | 2,53 | 0,13 | 0,30 | 540,91 | 56 |
| R47 | plásticos com tinta à base d'água | 0,88 | -0,30 | 0,80 | 1,14 | -0,32 | -63,06 | 25 |
| R48 | plásticos com tinta UV | 1,08 | -0,30 | 0,65 | 1,40 | -0,39 | -21,54 | 33 |
| R49 | potes plásticos com tinta à base d'água | 1,10 | -0,30 | 0,64 | 1,43 | -0,40 | -44,16 | 27 |
| R50 | potes plásticos de análise com tinta UV | 1,10 | -0,30 | 0,64 | 1,43 | -0,40 | -33,59 | 29 |
| R51 | resíduos de AP | 1,10 | -0,30 | 0,64 | 1,43 | -0,82 | -644,81 | 15 |
| R52 | resíduos de jardinagem | 1,20 | -0,30 | 0,58 | 1,56 | 0,00 | 0,00 | 45 |
| R53 | resíduos de tintas UV | 0,88 | -0,30 | 0,80 | 1,14 | -0,22 | -372,07 | 18 |
| R54 | resina melamínica | 1,10 | -0,30 | 0,64 | 1,43 | -0,26 | -465,57 | 17 |
| R55 | serragem | 0,90 | -0,30 | 0,78 | 1,17 | -0,32 | -8,50 | 38 |
| R56 | sucata de papel | 0,80 | 0,20 | 1,50 | 0,64 | 0,29 | 19.771,02 | 60 |
| R57 | tambores para descarte | 1,00 | 0,82 | 1,82 | 0,18 | 1,21 | 19.107,74 | 61 |
| R58 | tambores para reaproveitamento | 1,00 | 1,00 | 2,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 46 |
| R59 | tintas | 0,88 | 0,50 | 1,70 | 0,44 | -0,08 | -208,79 | 19 |
| R60 | tubete + rolo de fita | 0,88 | 0,82 | 2,07 | 0,16 | 0,25 | 1.302,80 | 58 |
| R61 | varrição | 1,32 | -0,30 | 0,53 | 1,72 | 0,00 | 0,00 | 47 |
| R62 | vidro | 1,08 | -0,60 | 0,37 | 1,73 | 0,00 | 0,00 | 48 |

Vale salientar, que oito resíduos tiveram seus valores de $\$_{total}$ nulos: aglomerados (R1), madeira (R30), óleo industrial (R32), pilhas e baterias (R45), resíduos de jardinagem (R52), tambores para reaproveitamento (R58), varrição (R61) e vidro (R62). Em função disso, surgiu a necessidade de se criar um critério de escolha de prioridade, optando-se, então, pelo critério da maior quantidade gerada, em função de todos serem extrínsecos ao processo produtivo.

É importante observar que, aproximadamente, 70% dos resíduos dão prejuízo para a empresa, o que pode ser identificado pelo $\$_{Total}$ negativo. Somando-se todos os valores de $\$_{Total}$, nota-se um prejuízo anual de, aproximadamente, R\$ 17 mil com o gerenciamento de resíduos. Isto salienta a importância de rever a geração, a disposição, os custos e o retorno obtido com os resíduos.

Os dez resíduos mais prioritários em relação: (i) a quantidade gerada; (ii) ao valor dos materiais presentes no resíduo; (iii) aos custos globais de gerenciamento; e (iv) as destinações finais, fatores que compõem a análise por valor, estão sumarizados na Tabela 4.6.

TABELA 4.6 – ANÁLISE POR VALOR: OS DEZ RESÍDUOS PRIORITÁRIOS

| Código | Resíduo | Ordem |
|---------------|--|--------------|
| R17 | esgotos sanitários | 1 |
| R28 | lodo físico-químico da ETE | 2 |
| R35 | papéis impressos BP e FF - fardos e mantas | 3 |
| R26 | lixo orgânico | 4 |
| R14 | embalagens de papelão contaminado | 5 |
| R03 | água residuária | 6 |
| R13 | descarte de verniz | 7 |
| R27 | lodo biológico da ETE | 8 |
| R25 | lixo de banheiros | 9 |
| R43 | papelão contaminado do chão | 10 |

Esgotos sanitários, lodo físico-químico, papéis impressos, lixo orgânico, embalagens de papelão contaminado, água residuária, descarte de verniz, lodo biológico, lixo de banheiros, papelão do chão foram, nessa ordem, os resíduos mais prioritários em relação à análise por valor. Os resíduos líquidos, R (17) e R (03), aparecem devido à grande geração. Devido à quantidade e ao custo de destinação, os lodos também surgem como prioritários. Vale salientar, o aparecimento do lixo orgânico e dos banheiros, devido ao alto custo de transporte e destinação.

Vale destacar a diversidade dos resultados, confirmando que o modelo não considera apenas a quantidade gerada, mas custo, disposição e aspecto técnico.

O resultado da priorização em relação à análise por valor mostra que a geração de resíduos prioritários não se concentra em apenas uma unidade, pois um está na fabricação de tintas e vernizes, dois na ETE, outros três na unidade de impressão de papéis e quatro na fábrica em geral.

Como bem citado por Grubhofer (2006), a aplicação do modelo matemático de Cercal (2000) na indústria possibilita a elaboração de um inventário de resíduos, devido à coleta de informações detalhadas sobre identificação, geração e disposição final dos resíduos. Desta forma, o gerenciamento de resíduos pode se tornar mais efetivo na empresa.

4.2.2 Análise dos resíduos por risco

Semelhante à análise por valor, as variáveis Z_{jk} e W_k foram consideradas unitárias, visto que não há variação na quantidade gerada de resíduo por produto fabricado. Para a pergunta “1” todas as respostas foram “sim”, indicando a existência de dados reais ou estimados referente às quantidades e/ou composições. Desta maneira, todos foram considerados, inicialmente, como prioritários, porém as demais perguntas e respostas se encarregaram de efetivar a hierarquização.

Quanto à existência de danos à saúde, somente os resíduos com contaminação de tinta UV e resinas e vernizes, que ainda estejam no estado líquido, têm possibilidade de causar algum dano. Nenhum resíduo causou algum tipo de reclamação ou penalização à empresa. Porém, alguns deles podem vir a gerar alguma penalização, por exemplo, esgotos sanitários (R17) e água residuária (R03) se não forem bem gerenciados e tratados, além dos resíduos com contaminação de tinta UV. A periculosidade dos resíduos obedeceu à classificação segundo a NBR 10.004 (2004), conforme detalhado na Tabela 3.6. Vale salientar que, os resíduos perigosos – classe I – diferenciam-se por possuir uma destas características: corrosividade, reatividade, inflamabilidade, toxicidade ou patogenicidade. No caso desta pesquisa, apenas doze se classificam como perigosos: sete deles com contaminação com tinta UV, os esgotos sanitários (R17), água com solvente (R2), pilhas e baterias (R45), lâmpadas (R23) e descarte de verniz (R13).

Os resíduos foram analisados de acordo com as perguntas e respostas do

modelo de Cercal (2000), descritas no item 3.2.2.2. Os resultados desta análise estão apresentados na Tabela 4.7. É importante ressaltar, que o risco global de um resíduo é proporcional ao número de respostas “em potencial” e inversamente proporcional a sua periculosidade, de acordo com o modelo de Cercal (2000).

TABELA 4.7 – RESULTADOS DA ANÁLISE POR RISCO

continua

| Código | Existem dados? | Danos à saúde? | Reclamações? | Penalizações? | Periculosidade | ΣQ_{jk} | R | Ordem |
|--------|----------------|----------------|--------------|---------------|----------------|-----------------|-----|-------|
| R01 | SIM | isento | isento | isento | 2 | 0 | 0 | 53 |
| R02 | SIM | isento | isento | isento | 1 | 0 | 0 | 42 |
| R03 | SIM | isento | isento | em potencial | 2 | 1 | 0,5 | 13 |
| R04 | SIM | isento | isento | isento | 2 | 0 | 0 | 43 |
| R05 | SIM | isento | isento | isento | 2 | 0 | 0 | 55 |
| R06 | SIM | isento | isento | isento | 2 | 0 | 0 | 30 |
| R07 | SIM | isento | isento | isento | 2 | 0 | 0 | 40 |
| R08 | SIM | isento | isento | isento | 2 | 0 | 0 | 46 |
| R09 | SIM | isento | isento | isento | 2 | 0 | 0 | 56 |
| R10 | SIM | isento | isento | isento | 2 | 0 | 0 | 21 |
| R11 | SIM | isento | isento | isento | 2 | 0 | 0 | 28 |
| R12 | SIM | em potencial | isento | em potencial | 1 | 5 | 5 | 4 |
| R13 | SIM | em potencial | isento | em potencial | 1 | 5 | 5 | 1 |
| R14 | SIM | isento | isento | isento | 2 | 0 | 0 | 17 |
| R15 | SIM | isento | isento | isento | 2 | 0 | 0 | 26 |
| R16 | SIM | isento | isento | isento | 2 | 0 | 0 | 29 |
| R17 | SIM | isento | isento | em potencial | 1 | 1 | 1 | 10 |
| R18 | SIM | isento | isento | isento | 2 | 0 | 0 | 22 |
| R19 | SIM | isento | isento | isento | 2 | 0 | 0 | 35 |
| R20 | SIM | isento | isento | isento | 2 | 0 | 0 | 33 |
| R21 | SIM | isento | isento | isento | 2 | 0 | 0 | 39 |
| R22 | SIM | isento | isento | isento | 2 | 0 | 0 | 44 |
| R23 | SIM | isento | isento | isento | 1 | 0 | 0 | 31 |
| R24 | SIM | isento | isento | isento | 2 | 0 | 0 | 45 |
| R25 | SIM | isento | isento | isento | 2 | 0 | 0 | 19 |
| R26 | SIM | isento | isento | isento | 2 | 0 | 0 | 16 |
| R27 | SIM | isento | isento | isento | 2 | 0 | 0 | 18 |
| R28 | SIM | isento | isento | isento | 2 | 0 | 0 | 14 |
| R29 | SIM | isento | isento | isento | 2 | 0 | 0 | 38 |
| R30 | SIM | isento | isento | isento | 2 | 0 | 0 | 51 |
| R31 | SIM | isento | isento | isento | 2 | 0 | 0 | 57 |
| R32 | SIM | isento | isento | isento | 2 | 0 | 0 | 52 |
| R33 | SIM | isento | isento | isento | 2 | 0 | 0 | 37 |
| R34 | SIM | em potencial | isento | em potencial | 1 | 5 | 5 | 7 |
| R35 | SIM | isento | isento | isento | 2 | 0 | 0 | 15 |
| R36 | SIM | isento | isento | isento | 2 | 0 | 0 | 62 |
| R37 | SIM | isento | isento | isento | 2 | 0 | 0 | 24 |
| R38 | SIM | em potencial | isento | em potencial | 1 | 5 | 5 | 2 |
| R39 | SIM | isento | isento | isento | 2 | 0 | 0 | 23 |
| R40 | SIM | em potencial | isento | em potencial | 1 | 5 | 5 | 6 |
| R41 | SIM | isento | isento | isento | 2 | 0 | 0 | 54 |
| R42 | SIM | isento | isento | isento | 2 | 0 | 0 | 36 |
| R43 | SIM | isento | isento | isento | 2 | 0 | 0 | 20 |
| R44 | SIM | isento | isento | isento | 2 | 0 | 0 | 59 |

| Código | Existem dados? | Danos à saúde? | Reclamações? | Penalizações? | Periculosidade | ΣQ_{jk} | R | conclusão |
|--------|----------------|----------------|--------------|---------------|----------------|-----------------|---|-----------|
| | | | | | | | | Ordem |
| R45 | SIM | isento | isento | em potencial | 1 | 1 | 1 | 11 |
| R46 | SIM | isento | isento | isento | 2 | 2 | 1 | 12 |
| R47 | SIM | isento | isento | isento | 2 | 0 | 0 | 32 |
| R48 | SIM | em potencial | isento | em potencial | 1 | 5 | 5 | 5 |
| R49 | SIM | isento | isento | isento | 2 | 0 | 0 | 34 |
| R50 | SIM | isento | isento | em potencial | 1 | 5 | 5 | 3 |
| R51 | SIM | isento | isento | isento | 2 | 0 | 0 | 25 |
| R52 | SIM | isento | isento | isento | 2 | 0 | 0 | 47 |
| R53 | SIM | em potencial | isento | isento | 1 | 4 | 4 | 8 |
| R54 | SIM | em potencial | isento | isento | 2 | 4 | 2 | 9 |
| R55 | SIM | isento | isento | isento | 2 | 0 | 0 | 41 |
| R56 | SIM | isento | isento | isento | 2 | 0 | 0 | 60 |
| R57 | SIM | isento | isento | isento | 2 | 0 | 0 | 61 |
| R58 | SIM | isento | isento | isento | 2 | 0 | 0 | 48 |
| R59 | SIM | isento | isento | isento | 2 | 0 | 0 | 27 |
| R60 | SIM | isento | isento | isento | 2 | 0 | 0 | 58 |
| R61 | SIM | isento | isento | isento | 2 | 0 | 0 | 49 |
| R62 | SIM | isento | isento | isento | 3 | 0 | 0 | 50 |

Dos sessenta e dois resíduos, quarenta e nove tiveram valores para risco global nulos. Isto significa que possuem baixo potencial de risco à saúde humana e ao meio ambiente. Diversos resíduos tiveram valor de risco global igual e como critério de priorização foi adotado aquele proposto por Timofiecsyk (2001), no qual é considerado o resultado da análise por valor para estabelecer a hierarquia. Nestes casos, os aspectos econômico, ambiental e técnico são relevantes para o processo de hierarquização.

Os dez resíduos mais prioritários em relação: (i) ao risco à saúde humana; (ii) ao risco de penalizações; (iii) ao risco de reclamações; e (iv) à periculosidade, estão sumarizados na Tabela 4.8.

TABELA 4.8 – ANÁLISE POR RISCO: OS DEZ RESÍDUOS PRIORITÁRIOS

| Código | Resíduo | Ordem |
|--------|---|-------|
| R13 | descarte de verniz | 1 |
| R38 | papel crepe com tinta UV | 2 |
| R50 | potes plásticos de análise com tinta UV | 3 |
| R12 | copo plástico com tinta base UV | 4 |
| R48 | plásticos com tinta UV | 5 |
| R40 | papel impresso com tinta UV | 6 |
| R34 | palitos com tinta UV | 7 |
| R53 | resíduos de tintas UV | 8 |
| R54 | resina melamínica | 9 |
| R17 | esgotos sanitários | 10 |

Descarte de verniz (R13), papel crepe com tinta UV (R38), potes plásticos de análise com tinta UV (R50), copo plástico com tinta base UV (R12), plásticos com tinta UV (R48), papel impresso com tinta UV (R40), palitos com tinta UV (R34), resíduos de tintas UV (R53), resina melamínica (R54) e esgotos sanitários (R17) são os dez resíduos prioritários em relação à análise por risco. Observa-se que os resíduos desta análise se concentram na unidade de FTV. Isto ocorre devido à presença de metais pesados nas tintas e vernizes com cura UV. Além destes, a resina melamínica e o descarte de verniz destacam-se devido a reatividade. O esgoto sanitário apresentam patogenicidade, por isso é prioritários quanto ao risco.

4.2.3 Análise dos resíduos por facilidade de minimização

Na análise por facilidade de minimização, os resíduos foram hierarquizados, levando em consideração a viabilidade técnica, recursos financeiros e humanos. A Tabela 4.9 apresenta as respostas às doze perguntas da análise por facilidade de minimização, “S” representando, sim e “N”, não.

TABELA 4.9 – ANÁLISE DE FACILIDADE DE MINIMIZAÇÃO: RESPOSTAS ÀS PERGUNTAS

continua

| Código | parar equipamento | parar processo | parar unidade | modificar equipamento | modificar processo | modificar unidade | implantar equipamento | implantar processo | implantar unidade | tecnologia disponível | mão de obra | recursos disponíveis |
|--------|-------------------|----------------|---------------|-----------------------|--------------------|-------------------|-----------------------|--------------------|-------------------|-----------------------|-------------|----------------------|
| R01 | N | N | N | N | S | N | N | N | N | S | S | S |
| R02 | N | N | N | N | N | N | S | N | N | S | S | N |
| R03 | N | N | N | N | N | N | N | N | N | S | S | S |
| R04 | N | N | N | N | S | N | N | N | N | S | S | S |
| R05 | N | N | N | N | S | N | N | N | N | S | S | S |
| R06 | N | N | N | N | N | N | N | S | N | N | N | N |
| R07 | N | N | N | N | S | N | N | N | N | N | S | S |
| R08 | N | N | N | N | N | N | N | N | N | N | N | N |
| R09 | N | N | N | N | S | N | N | N | N | S | S | S |
| R10 | N | N | N | N | N | N | N | N | N | S | S | S |
| R11 | N | N | N | N | S | N | N | N | N | S | S | S |
| R12 | N | N | N | N | S | N | N | N | N | S | S | S |
| R13 | N | N | N | N | N | N | N | S | N | N | N | N |
| R14 | N | N | N | N | S | N | N | N | N | N | S | S |
| R15 | N | N | N | N | S | N | N | N | N | N | S | S |
| R16 | N | N | N | N | N | N | N | N | N | S | S | S |

Para cada uma das perguntas realizadas, na qual a resposta seja positiva, o modelo estabelece um peso distinto. Estes pesos são somados para cada resíduo. Quando resultar valor positivo, segundo o modelo deve-se multiplicar pelo valor do custo de minimização, caso contrário, os valores são divididos. O custo da minimização CM_{jk} também foi valorado, pelo modelo, em “3” para muito elevado, “2” para alto, “1” para baixo e “0” para muito baixo.

Aspectos favoráveis para a minimização recebem pesos negativos, enquanto aspectos desfavoráveis, pesos positivos. Isto comprova que quanto menor o valor da facilidade de minimização mais fácil será para realizar a minimização deste resíduo.

A Tabela 4.10 apresenta os resultados para a análise de facilidade de minimização e sua hierarquização.

TABELA 4.10 – RESULTADOS DA ANÁLISE POR FACILIDADE DE MINIMIZAÇÃO
continua

| Código | Resíduo | ΣF_{jk} | Custo de Minimização | F | Ordem |
|--------|--|-----------------|----------------------|--------|-------|
| R01 | palitos com tinta à base d'água | -28,3 | 1 | -28,30 | 14 |
| R02 | água com solvente da lavagem dos moinhos | -13,2 | 2 | -6,60 | 49 |
| R03 | água residuária | -32,3 | 1 | -32,30 | 3 |
| R04 | palitos com tinta UV | -28,3 | 1 | -28,30 | 16 |
| R05 | bombonas plásticas | -28,3 | 2 | -14,15 | 32 |
| R06 | capa de fita dupla face | 8 | 2 | 16,00 | 61 |
| R07 | cintas plásticas | -18,2 | 2 | -9,10 | 43 |
| R08 | cinzas da análise de papéis | 0 | 1 | 0,00 | 60 |
| R09 | papel base | -28,3 | 1 | -28,30 | 21 |
| R10 | copo plástico | -32,3 | 1 | -32,30 | 5 |
| R11 | copo plástico com tinta à base d'água | -28,3 | 2 | -14,15 | 28 |
| R12 | copo plástico com tinta base UV | -28,3 | 2 | -14,15 | 29 |
| R13 | descarte de verniz | 8 | 3 | 24,00 | 62 |
| R14 | embalagens de papelão contaminado | -18,2 | 2 | -9,10 | 38 |
| R15 | embalagens de plástico contaminado | -18,2 | 2 | -9,10 | 41 |
| R16 | lixo orgânico | -32,3 | 1 | -32,30 | 2 |
| R17 | esgotos sanitários | -32,3 | 2 | -16,15 | 26 |
| R18 | estopas | -18,2 | 2 | -9,10 | 39 |
| R19 | etiquetas adesivas | -22,2 | 2 | -11,10 | 34 |
| R20 | filtro cuno e buchas | -20,2 | 3 | -6,73 | 48 |
| R21 | filtro de tinta e verniz | 0 | 2 | 0,00 | 59 |
| R22 | foam | -28,3 | 2 | -14,15 | 30 |
| R23 | lâmpadas | 0 | 1 | 0,00 | 58 |
| R24 | lixas | -18,2 | 3 | -6,07 | 50 |
| R25 | lixo de banheiros | -32,3 | 2 | -16,15 | 27 |
| R26 | lodo biológico da ETE | -32,3 | 1 | -32,30 | 4 |

| Código | Resíduo | ΣF_{jk} | Custo de Minimização | F | conclusão |
|--------|--|-----------------|----------------------|--------|-----------|
| | | | | | Ordem |
| R27 | lodo físico-químico da ETE | -32,3 | 1 | -32,30 | 1 |
| R28 | papel crepe com tinta à base d'água | -32,3 | 1 | -32,30 | 6 |
| R29 | lonas do filtro prensa | -13,2 | 4 | -3,30 | 54 |
| R30 | papel crepe com tinta UV | -32,3 | 1 | -32,30 | 7 |
| R31 | metal | -22,2 | 2 | -11,10 | 37 |
| R32 | óleo industrial | -15,2 | 4 | -3,80 | 53 |
| R33 | papelão contaminado do chão | -28,3 | 1 | -28,30 | 10 |
| R34 | plásticos com tinta à base d'água | -28,3 | 1 | -28,30 | 11 |
| R35 | papéis impressos BP e FF - fardos e mantas | -5,1 | 4 | -1,28 | 56 |
| R36 | plásticos com tinta UV | -28,3 | 1 | -28,30 | 15 |
| R37 | papel limpo | -32,3 | 1 | -32,30 | 9 |
| R38 | varrição | -32,3 | 1 | -32,30 | 8 |
| R39 | papel impresso com tinta à base d'água | -18,2 | 2 | -9,10 | 40 |
| R40 | papel impresso com tinta UV | -3,1 | 2 | -1,55 | 55 |
| R41 | algodão | -28,3 | 1 | -28,30 | 17 |
| R42 | papel pudal - tarja preta | -18,2 | 2 | -9,10 | 42 |
| R43 | potes plásticos de análise com tinta à base d'água | -28,3 | 1 | -28,30 | 12 |
| R44 | papelão limpo | -18,2 | 2 | -9,10 | 45 |
| R45 | pilhas e baterias | -24,3 | 2 | -12,15 | 31 |
| R46 | plástico limpo | -18,2 | 2 | -9,10 | 44 |
| R47 | potes plásticos de análise com tinta UV | -28,3 | 1 | -28,30 | 13 |
| R48 | tambores para descarte | -28,3 | 1 | -28,30 | 20 |
| R49 | tambores para reaproveitamento | -28,3 | 1 | -28,30 | 18 |
| R50 | tintas | -22,3 | 1 | -22,30 | 22 |
| R51 | resíduos de AP | -22,2 | 3 | -7,40 | 47 |
| R52 | resíduos de jardinagem | -22,2 | 2 | -11,10 | 35 |
| R53 | resíduos de tintas UV | -13,2 | 3 | -4,40 | 52 |
| R54 | resina melamínica | -13,2 | 3 | -4,40 | 51 |
| R55 | serragem | -17,2 | 2 | -8,60 | 46 |
| R56 | sucata de papel com tubetes | -5,1 | 4 | -1,28 | 57 |
| R57 | EPI | -22,2 | 1 | -22,20 | 23 |
| R58 | madeira | -22,2 | 1 | -22,20 | 24 |
| R59 | aglomerados impregnados | -18,2 | 1 | -18,20 | 25 |
| R60 | tubete + rolo de fita | -28,3 | 2 | -14,15 | 33 |
| R61 | contêineres | -28,3 | 1 | -28,30 | 19 |
| R62 | vidro | -22,2 | 2 | -11,10 | 36 |

As variáveis Z_{jk} e W_k das equações 18 e 19 também foram consideradas unitárias, visto que não há variação na quantidade gerada de resíduo por produto fabricado. O critério de desempate adotado foi o mesmo utilizado para a análise de risco, ou seja, a classificação foi obtida pela análise de valor.

Os dez resíduos mais prioritários em relação: (i) à tecnologia, recursos e mão-de-obra disponíveis; (ii) ao custo de minimização; e (iii) à facilidade de minimização, aspectos que compõem a análise por facilidade de minimização, são:

lodo biológico (R27), EPI (R16), água residuária (R03), lixo orgânico (26), copo plástico (R10), lodo físico-químico (R28), madeira (R30), papel crepe com tinta UV (R38), papel crepe com tinta à base d'água (R37), palitos com tinta à base d'água (Tabela 4.11).

TABELA 4.11 – ANÁLISE POR FACILIDADE DE MINIMIZAÇÃO: OS DEZ RESÍDUOS PRIORITÁRIOS

| Código | Resíduo | Ordem |
|--------|-------------------------------------|-------|
| R27 | lodo biológico da ETE | 1 |
| R16 | EPI | 2 |
| R03 | água residuária | 3 |
| R26 | lixo orgânico | 4 |
| R10 | copo plástico | 5 |
| R28 | lodo físico-químico da ETE | 6 |
| R30 | madeira | 7 |
| R38 | papel crepe com tinta UV | 8 |
| R37 | papel crepe com tinta à base d'água | 9 |
| R33 | palitos com tinta à base d'água | 10 |

Estes resíduos podem ser minimizados por meio de pequenas mudanças de processo e de hábitos, como: reutilizar luvas, diminuir a quantidade de papel crepe, treinamento simples na área industrial, adoção de boas práticas operacionais, alteração de procedimentos e normas e até algumas mudanças de fornecedores. Isto demonstra que não há a necessidade de grandes investimentos financeiros para diminuir a geração de resíduos.

Os resultados das três análises sustentadas pelo modelo matemático de priorização de Cercal (2000) são apresentados na Tabela 4.12.

TABELA 4.12 – RESULTADOS DAS ANÁLISES PARA TODOS OS RESÍDUOS

continua

| Código | Resíduo | Análise por valor | Análise por risco | Análise por Facilidade |
|--------|--|-------------------|-------------------|------------------------|
| R01 | aglomerados impregnados | 52 | 53 | 14 |
| R02 | água com solvente da lavagem dos moinhos | 40 | 42 | 49 |
| R03 | água residuária | 6 | 13 | 3 |
| R04 | algodão | 41 | 43 | 16 |
| R05 | bombonas plásticas | 54 | 55 | 32 |
| R06 | capa de fita dupla face | 22 | 30 | 61 |
| R07 | cintas plásticas | 37 | 40 | 43 |
| R08 | cinzas da análise de papéis | 44 | 46 | 60 |
| R09 | contêineres | 55 | 56 | 21 |
| R10 | copo plástico | 11 | 21 | 5 |

continuação

| Código | Resíduo | Análise por valor | Análise por risco | Análise por Facilidade |
|--------|--|-------------------|-------------------|------------------------|
| R12 | copo plástico com tinta base UV | 31 | 4 | 29 |
| R13 | descarte de verniz | 7 | 1 | 62 |
| R14 | embalagens de papelão contaminado | 5 | 17 | 38 |
| R15 | embalagens de plástico contaminado | 16 | 26 | 41 |
| R16 | EPI | 21 | 29 | 2 |
| R17 | esgotos sanitários | 1 | 10 | 26 |
| R18 | estopas | 12 | 22 | 39 |
| R19 | etiquetas adesivas | 28 | 35 | 34 |
| R20 | filtro cuno e buchas | 26 | 33 | 48 |
| R21 | filtro de tinta e verniz | 36 | 39 | 59 |
| R22 | foam | 42 | 44 | 30 |
| R23 | lâmpadas | 23 | 31 | 58 |
| R24 | lixas | 43 | 45 | 50 |
| R25 | lixo de banheiros | 9 | 19 | 27 |
| R26 | lixo orgânico | 4 | 16 | 4 |
| R27 | lodo biológico da ETE | 8 | 18 | 1 |
| R28 | lodo físico-químico da ETE | 2 | 14 | 6 |
| R29 | lonas do filtro prensa | 35 | 38 | 54 |
| R30 | madeira | 50 | 51 | 7 |
| R31 | metal | 57 | 57 | 37 |
| R32 | óleo industrial | 51 | 52 | 53 |
| R33 | palitos com tinta à base d'água | 32 | 37 | 10 |
| R34 | palitos com tinta UV | 39 | 7 | 11 |
| R35 | papéis impressos BP e FF - fardos e mantas | 3 | 15 | 56 |
| R36 | papel de acerto | 62 | 62 | 15 |
| R37 | papel crepe com tinta à base d'água | 14 | 24 | 9 |
| R38 | papel crepe com tinta UV | 24 | 2 | 8 |
| R39 | papel impresso com tinta à base d'água | 13 | 23 | 40 |
| R40 | papel impresso com tinta UV | 34 | 6 | 55 |
| R41 | papel limpo | 53 | 54 | 17 |
| R42 | papel pudal - tarja preta | 30 | 36 | 42 |
| R43 | papelão contaminado do chão | 10 | 20 | 12 |
| R44 | papelão limpo | 59 | 59 | 45 |
| R45 | pilhas e baterias | 49 | 11 | 31 |
| R46 | plástico limpo | 56 | 12 | 44 |
| R47 | plásticos com tinta à base d'água | 25 | 32 | 13 |
| R48 | plásticos com tinta UV | 33 | 5 | 20 |
| R49 | potes plásticos de análise com tinta à base d'água | 27 | 34 | 18 |
| R50 | potes plásticos de análise com tinta UV | 29 | 3 | 22 |
| R51 | resíduos de AP | 15 | 25 | 47 |
| R52 | resíduos de jardinagem | 45 | 47 | 35 |
| R53 | resíduos de tintas UV | 18 | 8 | 52 |
| R54 | resina melamínica | 17 | 9 | 51 |
| R55 | serragem | 38 | 41 | 46 |
| R56 | sucata de papel | 60 | 60 | 57 |
| R57 | tambores para descarte | 61 | 61 | 23 |
| R58 | tambores para reaproveitamento | 46 | 48 | 24 |
| R11 | copo plástico com tinta à base d'água | 20 | 28 | 28 |
| R59 | tintas | 19 | 27 | 25 |

| Código | Resíduo | conclusão | | |
|--------|-----------------------|-------------------|-------------------|------------------------|
| | | Análise por valor | Análise por risco | Análise por Facilidade |
| R60 | tubete + rolo de fita | 58 | 58 | 33 |
| R61 | varrição | 47 | 49 | 19 |
| R62 | vidro | 48 | 50 | 36 |

Água residuária, copo plástico, descarte de verniz, esgoto sanitário, lixo orgânico, lodo biológico da ETE, lodo físico-químico da ETE, papel crepe com tinta UV estão entre os dez resíduos prioritários em, pelo menos, duas das análises.

4.2.4 Análise global dos resíduos

O autor do modelo matemático sugere que não se faça uma análise global dos resultados, visto que são análises essencialmente diferentes. Porém, com ênfase na indústria, é necessário sintetizar os resultados e enfatizar os resíduos mais prioritários para facilitar a prática do gerenciamento.

Desta maneira, Timofiecsyk (2001) propôs um critério de análise global, adotando pesos para cada tipo de análise para chegar a uma hierarquização única. Leite (2003) e Grubhofer (2006) optaram por este critério, porém com pesos diferentes de acordo com o interesse da área de cada indústria pesquisada. Em contrapartida, Cendofanti (2005) optou por apresentar os resultados em separado, conforme sugerido pelo autor.

Neste trabalho, serão apresentados ambos os resultados, os dez resíduos mais prioritários de cada análise e também os resultados da análise global. Para esta última análise, foram usados os resultados das análises anteriores, de valor, de risco e de facilidade de minimização. Foram atribuídos pesos para cada uma dessas análises. Os pesos foram multiplicados pelo índice de prioridade e somados para a obtenção do valor da análise global do resíduo. Os pesos adotados para a análise global foram: três para análise valor, um para análise de risco e dois para análise de facilidade de minimização. A análise de risco teve um peso menor devido à situação atual da empresa no que se refere aos resíduos com alto risco, aqueles com contaminação de tintas UV. Como está em andamento a substituição de pigmentos com metal pesado (inorgânicos), usados nas tintas UV, para pigmentos orgânicos, o

peso da análise de risco foi suavizado na análise global. Um exemplo do cálculo da análise global está no anexo 04.

TABELA 4.13 – COMPARATIVO ENTRE AS ANÁLISES REALIZADAS

| Ordem | Análise de valor | Análise de risco | Análise de facilidade de minimização | Análise global |
|-------|------------------|------------------|--------------------------------------|----------------|
| 1 | R17 | R13 | R27 | R28 |
| 2 | R28 | R38 | R16 | R26 |
| 3 | R35 | R50 | R03 | R03 |
| 4 | R26 | R12 | R26 | R27 |
| 5 | R14 | R48 | R10 | R10 |
| 6 | R03 | R40 | R28 | R17 |
| 7 | R13 | R34 | R30 | R43 |
| 8 | R27 | R53 | R38 | R37 |
| 9 | R25 | R54 | R37 | R38 |
| 10 | R43 | R17 | R33 | R16 |

Os resíduos que estão destacados em negrito são aqueles que são coincidentes nos resultados de pelo menos duas análises. Entre os dez resíduos mais prioritários da aplicação do modelo, destaca-se a coincidência de quatro resíduos nas análises de valor e de facilidade de minimização: lixo orgânico (R26), lodo biológico (R27), lodo físico-químico (R28) e água residuária (R03). Os esgotos sanitários (R17) e o descarte de verniz (R13) são coincidentes para análise de valor e de risco. Para a análise de minimização e de risco resulta apenas uma coincidência: papel crepe com tinta UV (R38). Apesar da análise de risco indicar três resíduos sinalizados pelas outras análises, os resíduos desta análise são bastante diferentes dos demais, devido à presença de metais pesados nos pigmentos, os quais estão em processo de substituição.

Na análise global, os resíduos mais prioritários, nesta ordem, são: lodo físico-químico (R28), lixo orgânico (R26), água residuária (R03), lodo biológico (R27), copo plástico (R10), esgotos sanitários (R17), papelão contaminado do chão (R43), papel crepe com tinta à base d'água (R37), papel crepe com tinta UV (R38) e EPI (R16).

4.3 ALTERNATIVAS DE MINIMIZAÇÃO DE RESÍDUOS

Algumas alternativas de minimização serão expostas. Prioritariamente, para os resíduos do resultado da aplicação do modelo. Diversos resíduos são passíveis de minimização apenas com a implantação de boas práticas operacionais na empresa.

O lixo orgânico (R26) é prioritário, pois tem um elevado custo de transporte e destinação. Como alternativa, poderia ser realizada técnica de compostagem com este material no próprio terreno da fábrica, usando este composto para a área de jardinagem existente ou até para a comercialização.

Os lodos biológico (R27) e físico-químico da ETE (R28) são materiais com custo elevado de transporte e destinação. Primeiramente, poderiam ser reduzidas as quantidades de geração de lodos, pelo melhor controle de aeração e pela diminuição de água residuária (R03) afluente na ETE, desenvolvendo um trabalho de conscientização com os funcionários da área industrial. O custo da disposição final em aterro industrial desses lodos é de R\$ 250/ton.

Para o lodo biológico (R27), esta destinação poderia ser revista, como sugestão o co-processamento ou a técnica de compostagem. No co-processamento, a disposição tem um custo médio de R\$ 240/ton úmida ou R\$ 180/ton seca. Inicialmente, não reflete uma grande melhoria em relação ao custo, porém com o benefício do retorno dos tambores e do menor passivo ambiental, esta opção é bastante viável, chegando a reduzir em 60% o gasto atual. Quanto à compostagem, basicamente não geraria custos, visto que a empresa possui área disponível e a técnica não exige mão de obra exclusiva para esta finalidade.

Para o lodo físico-químico (R28), poderiam ser efetivadas alternativas como o reaproveitamento para novos materiais para a construção civil ou até mesmo para a fabricação de tintas, devido à alta concentração de dióxido de titânio, além de outras cargas minerais. Para serem viáveis as alternativas apresentadas se faz necessário, no entanto, trabalhar a questão do odor desagradável do resíduo.

Pensando na primeira opção temos um custo no milheiro de tijolos em torno de R\$ 280,00 com queima e utilização de matérias-primas naturais. Usando o lodo para fabricação de blocos (2,5kg de lodo/bloco), numa concentração de 55% de lodo, se for vendido a R\$ 170,00 o milheiro, tem-se um ganho de R\$ 26.787,00.

Os copos plásticos (R10) são prioritários devido à disposição atual inadequada, pois estão sendo enviados para aterro industrial, além do alto custo alto da destinação – R\$ 250/ton – são fáceis de serem minimizados. Esses copos poderiam ser vendidos para reciclagem num valor de R\$ 200/ton, porém é necessário criar uma logística adequada, devido à baixa quantidade deste resíduo.

As tintas (R59) poderiam ser reformuladas e reutilizadas no processo industrial, em sua totalidade, precisando apenas ajuste no sistema de entrada e saída de material, dispensando, assim, a disposição final em aterro industrial. Atualmente, apenas 40% têm sido reformuladas.

Os resíduos líquidos, como a água residuária (R03) e os esgotos sanitários (R17), são gerados em alta quantidade. Para que haja uma redução significativa, algumas medidas podem ser adotadas, como, por exemplo: (i) a conscientização de todos os colaboradores, mais criteriosamente nos setores de lavagem de peças e fabricação de tintas, e (ii) a instalação em todos os sanitários de válvulas de descarga com menor vazão de água. A água com solvente (R02) é outro resíduo líquido que pode ser avaliado, analisando a recuperação do solvente, visto que é constituído basicamente por 50% de água e 50% de álcool etílico.

Os papéis impressos, fardos e mantas (R35) poderiam ser encaminhados para co-processamento ou incineração, reduzindo a responsabilidade ambiental de manter este material num aterro industrial. Além disso, estes resíduos não têm valor para venda, visto que estão enfardados, amassados e cortados. Para o conhecimento das características deste resíduo, foram inseridas algumas fotografias (Figuras 4.2 e 4.3).



FIGURA 4.2 – FARDOS DE PAPÉIS IMPRESSOS



FIGURA 4.3 – MANTAS DE PAPÉIS IMPRESSOS

Resíduos contaminados com tinta ou verniz UV devem ser trabalhados para retirar os metais pesados e reduzir a toxicidade deste material. Os pigmentos com metais pesados (inorgânicos) estão em processo de substituição por pigmentos orgânicos.

Os palitos de madeira (R33) usados na amostragem de tintas e vernizes podem ser substituídos por palitos de plásticos, possibilitando a reciclagem deste material.

Os papéis higiênicos dos banheiros (R25) podem ser descartados no vaso sanitário. Segundo o INMETRO, os papéis higiênicos são normatizados para dissolver na água. A NBR 7.155 (2003) determina o tempo de absorção de água (ensaio de gota) necessário para um papel com fins sanitários absorva completamente uma quantidade específica de água. Como o tempo máximo admitido para os fabricantes de papel higiênico é de 15 segundos, estes podem ser descartados no vaso sanitário, sem resultar problemas de entupimento. Sendo assim, dispensaria o envio para o aterro do Caximba. Se for jogado no cesto de lixo, por ser embalado em sacos plásticos, seu impacto ambiental é maior – plásticos levam décadas para ser decompostos na natureza.

Os resíduos R36 (papel de acerto) e R56 (sucata de papel), Figura 4.4, são vendidos para reaproveitamento a um preço de R\$0,19/ton. Porém devido à quantidade, superior a 18 ton/mês representam para a empresa um lucro anual de R\$ 42.550. Estes resíduos não são passíveis de reciclagem. O papel FF devido à

existência de verniz na sua camada superior, a qual não permite a repolpagem. E o papel BP, por possuir baixa concentração de celulose, isto é, elevada concentração de cinzas e também por possuir agente de retenção a úmido em sua composição, impedindo também a repolpagem. Apesar de gerar um lucro financeiro com a venda, existe uma preocupação por parte da empresa, do que é feito com o resíduo deste material depois de reaproveitado. Com o objetivo de melhorar o aspecto ambiental, este material poderá ser encaminhado para co-processamento ou incineração.



FIGURA 4.4 – BOBINAS DE PAPÉIS – SUCATA E PAPEL DE ACERTO

O papel toalha de secagem das mãos nos setores administrativos pode ser avaliado para reciclagem, basta apenas desenvolver comprador para este fim. Uma outra alternativa é a substituição por toalha de pano nos banheiros. Nos setores industriais, onde também são utilizados, sugere fazer um trabalho para o uso consciente, reduzindo a geração deste resíduo.

EPI (R16) e estopas (R18) são materiais dispendiosos e devem ser minimizados na sua geração através de medidas de boas práticas. Trabalhos de conscientização com os funcionários, maior controle na retirada de material do almoxarifado são medidas que devem ser tomadas para amenizar a quantidade de resíduo produzido.

Materiais que atualmente são doados poderiam ser vendidos, visando um lucro com a venda destes: aglomerados (R01), madeira (R30) e óleo industrial (R32).

Durante a pesquisa, foi encontrada uma empresa recicladora para determinados resíduos, os quais estavam sendo destinados para o aterro industrial num custo de R\$ 250/ton. Cinzas plásticas (R7), copos (R11), potes (R49) e plásticos limpos (R46), plásticos em geral contaminados com tinta à base de água (R47) e também os copos plásticos para café e água (R10) podem ser vendidos a partir de R\$ 200/ton, quando misturados, até R\$ 700/ton, se forem separados. Dentro da hierarquia de opções para o gerenciamento de resíduos, a disposição final foi substituída pela reciclagem.

Alguns resíduos que estão sendo comercializados se encontram com valores abaixo do mercado, como: papel (R41), plástico (R46), papelão (R44), bombonas plásticas (R05) e *contêineres* (R09). Esses valores podem ser revistos e, assim, aumentar o ganho financeiro para a empresa.

Foi elaborada uma tabela (Tabela 4.14) para sintetizar os valores encontrados visando facilitar a análise dos resultados. Os valores estão apresentados em R\$/kg, quando negativos significam gastos para a empresa. Porém, quando positivos representam ganhos financeiros. Se essas alternativas de minimização propostas fossem adotadas, representaria um ganho anual de R\$ 47.740.

TABELA 4.14 – RESULTADOS FINANCEIROS

| Resíduo | Ganho atual (R\$/kg) | Possibilidade de ganho (R\$/kg) | Quantidade anual (Kg) | Ganho total (R\$) |
|---------|----------------------|---------------------------------|-----------------------|-------------------|
| R1/R30 | - | 0,05 | 12.439 | 622 |
| R05 | 0,05 | 0,60 | 1.940 | 970 |
| R09 | 0,05 | 0,60 | 360 | 200 |
| R10 | - | 0,20 | 2.179 | 435 |
| R14/R15 | -0,25 | - | 9.930 | 2.482 |
| R25 | -1,22 | - | 1.141 | 1.392 |
| R26 | -1,22 | - | 7.920 | 9.662 |
| R27 | -0,24 | -0,10 | 14.400 | 2.016 |
| R28 | -0,25 | 0,17 | 63.778,8 | 26.787 |
| R31 | 0,20 | 0,30 | 2.041 | 204 |
| R32 | - | 1,00 | 648 | 648 |
| R41 | 0,08 | 0,30 | 979,4 | 215 |
| R44 | 0,08 | 0,10 | 15.017 | 300 |
| R46 | 0,08 | 0,70 | 1.783 | 1.105 |
| R49 | -0,25 | - | 2.636 | 695 |
| | | | TOTAL | 47.740 |

4.4 REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS

Antes mesmo da priorização finalizada, percebeu-se a urgência de estudar e desenvolver o reaproveitamento de alguns resíduos como, por exemplo, o lodo de tratamento físico-químico da ETE. A definição pelo seu uso foi baseada, inicialmente, em alguns fatores como quantidade significativa, aproximadamente cinco toneladas por mês de lodo, o que representa em torno de 12,5% em peso do total de resíduos; custo de disposição elevado em aterro industrial; odor; além da dificuldade de reaproveitamento resíduo.

Os lodos de tratamento físico-químico e biológico são considerados, segundo a NBR 10.004 (ABNT, 2004), resíduos sólidos de classe IIA – não inerte, portanto, não podem ser descartados nas redes de esgoto ou em corpos de água. Portanto, seu destino é um problema ambiental. Assim, visando a utilização deste material, incorporando-o em cimento, para inertização, é necessária primeiramente, a sua caracterização, tanto forma físico-química quanto térmica (COLANZI; PIETROBON, 2002).

4.4.1 Caracterização das matérias-primas

Os resíduos utilizados como matérias-primas para o reaproveitamento foram: (i) lodo físico-químico de ETE da produção de tintas da *Impress*, usado como carga mineral; (ii) resíduo da produção de cal (RPC) de uma fábrica em Rio Branco do Sul, como material ligante; e (iii) cinzas de queima de madeira da empresa FILTOIL, como absorvente para retirar a umidade e também como carga mineral. Inicialmente, as matérias-primas foram secas na estufa a 100°C e pulverizadas com o auxílio do moinho de tungstênio. Desta forma, esses materiais foram preparados para as análises de difração de raios-X, fluorescência de raios-X, análise térmica diferencial (ATD) e análise termogravimétrica (TG), realizadas no Laboratório de Análises de Minerais e Rochas – LAMIR e as análises de microscopia eletrônica de varredura associado com sistema de energia dispersiva (MEV-EDS), foram realizadas no Laboratório da Bosch – Unidade de Curitiba.

4.4.1.1 Lodo físico-químico de ETE

Para a caracterização inicial do lodo, foram realizadas análises de umidade e de cinzas. A primeira pela diferença de massa, perda da água, durante a permanência em estufa a 100°C num período de 24 horas, resultou em 64,45% de umidade. E a análise de cinzas, realizada pela queima durante uma hora a 1000°C, resultou em 56,85% de cinzas.

As análises de DRX do lodo indicaram a presença de TiO_2 , SiO_2 e Al_2O_3 . Esta composição foi confirmada pelas análises de FRX que apresentam como resultados as proporções de 64% de TiO_2 , 14,5% de SiO_2 e 13,8% de Al_2O_3 , como mostra a Tabela 4.15.

TABELA 4.15 – RESULTADOS DA DRX E FRX PARA O LODO FÍSICO-QUÍMICO

| DRX | | FRX | |
|------------------|---|-------------------------|------|
| Nome do Composto | Fórmula química | Componentes | (%) |
| Rutila | $\text{Ti}_{0,992}\text{O}_2$ | TiO_2 | 64 |
| Anatase | TiO_2 | SiO_2 | 14,5 |
| Kaolinite | $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ | Al_2O_3 | 13,8 |
| | | SO_3 | 1,9 |
| | | Cl | 1,3 |
| | | Fe_2O_3 | 1,3 |
| | | NiO | 1,2 |
| | | P_2O_5 | 0,8 |
| | | CaO | 0,7 |
| | | K_2O | 0,2 |
| | | MgO | 0,1 |
| | | Na_2O | 0,1 |

Vale ressaltar que na composição do lodo físico-químico existem traços de outros óxidos como zinco, cobre e estrôncio, além dos que compõem a Tabela 4.15.

Segundo os resultados do laudo de classificação de resíduo do lodo físico-químico da ETE (anexo 05), o lodo físico-químico é classificado como não inerte, classe IIA, em função dos teores encontrados no extrato solubilizado estarem acima dos limites especificados pela NBR 10.006 (ABNT, 2004). Também foram realizadas análises térmicas para verificar composição mineralógica do resíduo.

As curvas de ATD e TG para o lodo físico-químico de ETE são representadas pela Figura 4.5, sendo a TG curva em vermelho e a ATD em preto.

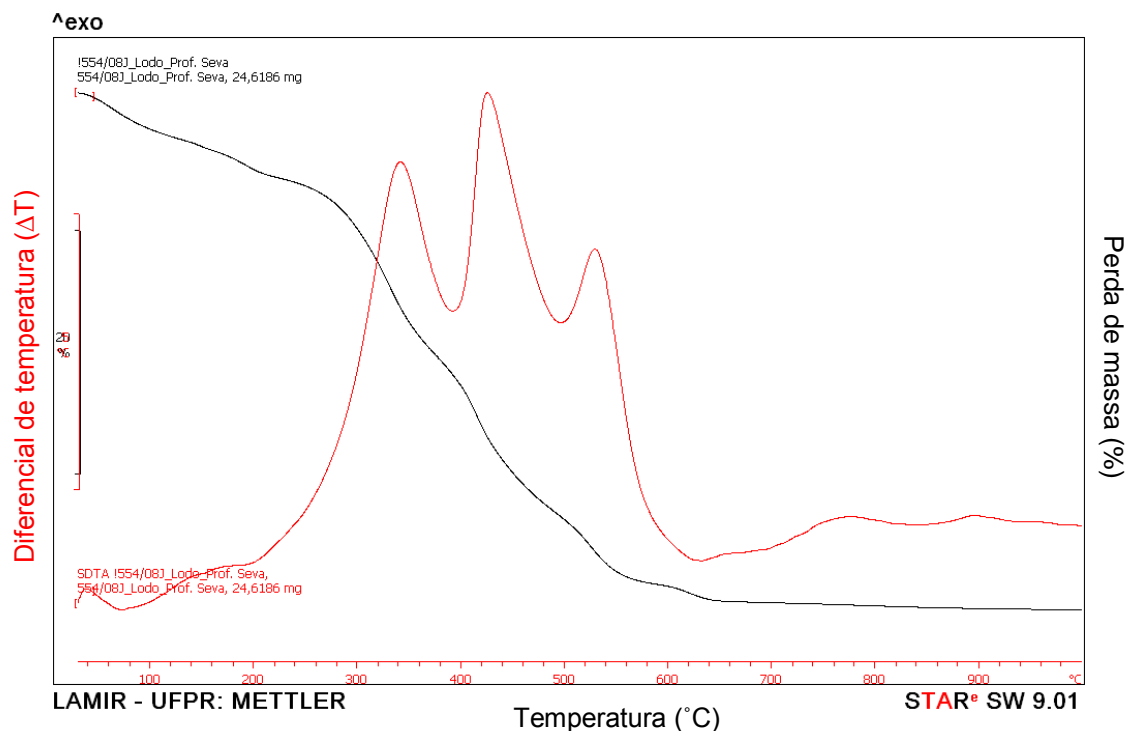


FIGURA 4.5 – CURVAS DE ATD E TG DO LODO FÍSICO-QUÍMICO

Os resultados foram interpretados e tabelados para facilitar a compreensão dos dados (Tabela 4.16).

TABELA 4.16 – INTERPRETAÇÃO DE PICOS DE ANÁLISE ATD E TG DO LODO DE ETE

| Matéria-prima | Endo-efeito 1 | | Exo-efeito 1 | Exo-efeito 2 | Exo-efeito 3 | Exo-efeitos |
|---------------|--------------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------------------|
| | Temp. do pico (°C) | Perda de peso (%) | Temp. do pico (°C) | Temp. do pico (°C) | Temp. do pico (°C) | Perda de peso (%) |
| Lodo de ETE | 71,8 | 5,3 | 348,6 | 433,9 | 534,7 | 37,1 |

De acordo com a Figura 4.7 e Tabela 4.16, observa-se que na análise térmica (ATD e TG) do lodo existem quatro picos, um endotérmico e três exotérmicos. O primeiro endotérmico, com extremo de 71,8°C com perda de peso de 5,3%, caracterizando a perda de água livre da amostra. Os outros picos, todos exotérmicos, com extremos de 348,6°C, 433,9°C e 534,7°C, com perda de peso total de 37,1%, caracterizando oxidação de pigmentos orgânicos, os quais estão em alta concentração e possuem elevada temperatura de oxidação.

Na análise de MEV foi observada a composição morfológica do lodo de ETE, conforme Figura 4.6.

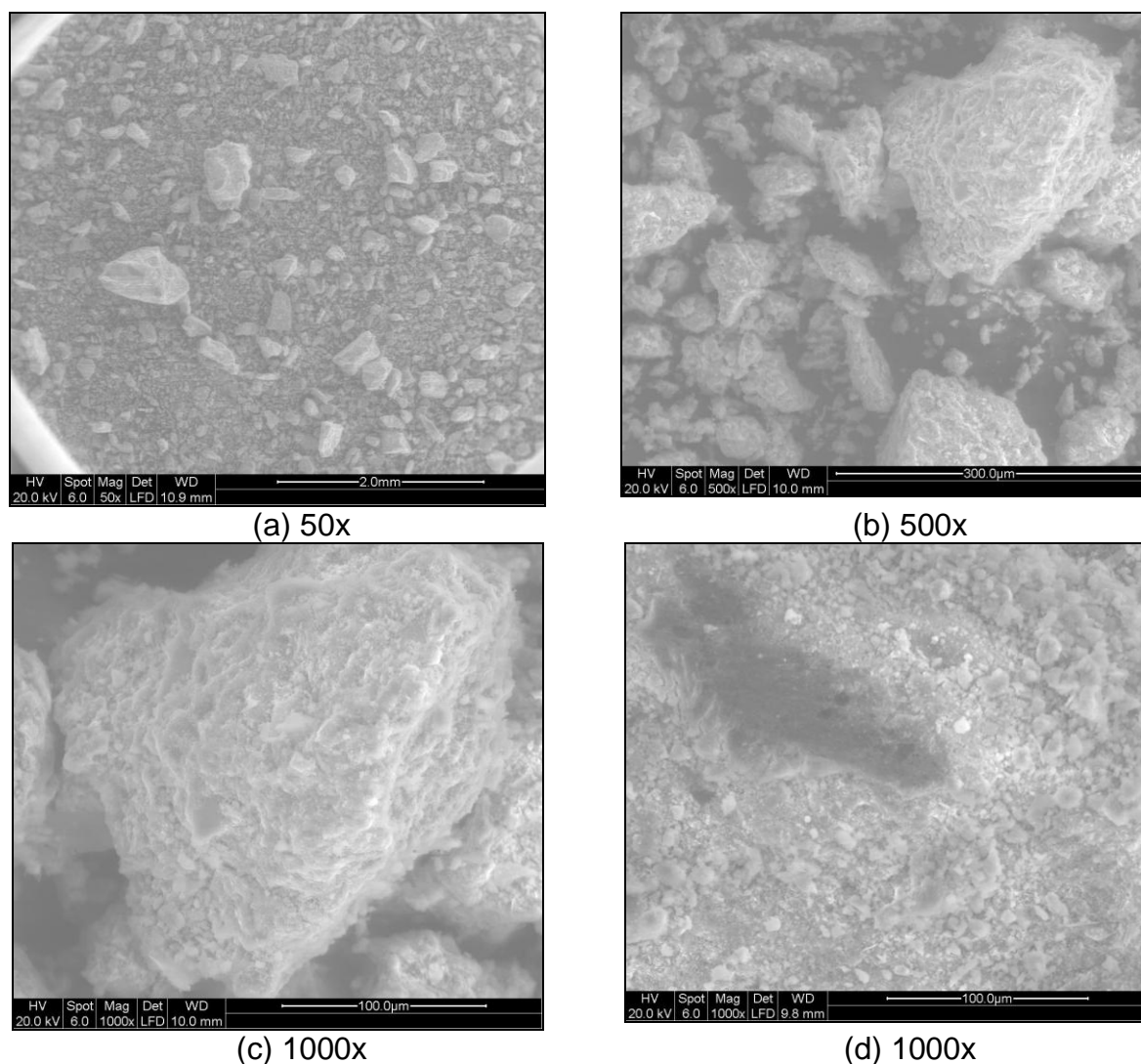


FIGURA 4.6 – MICROGRAFIAS DO LODO FÍSICO-QUÍMICO DE ETE (a) 50X, (b) 500X, (c) E (d) 1000X.

O resultado da aplicação da microscopia eletrônica de varredura permite observar que nas micrografias a e b, todas as partículas de lodo têm diferentes tamanhos e morfologia, além de evidenciar que as partículas não possuem ligação entre si. Com a magnificação das imagens (Figuras 4.6 c e d) é possível observar que a superfície das partículas é bastante irregular, não possuindo faces ou formas cristalinas, mas micropartículas com tamanho e morfologia também diferentes. A característica é de um material disforme, pois tanto na área geral (Tabela 4.17) como

na magnificação, percebe-se a mistura de micropartículas com diferentes tamanhos e morfologias.

TABELA 4.17 – ANÁLISE DA ÁREA GERAL DAS MICROGRAFIAS DO LODO DE ETE

| | Al | Si | P | S | Cl | K | Ca | Ti | Fe |
|--------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|
| Área 1 | 4,53 | 4,38 | 0,26 | 0,53 | 0,93 | 0,26 | 0,52 | 37,83 | 1,07 |
| Área 2 | 5,57 | 5,27 | 0,34 | 0,63 | 0,88 | 0,17 | 0,55 | 30,86 | 1,38 |

A análise de EDS do lodo de ETE confirma os resultados da FRX, tendo apresentada elevada concentração de Ti e teores de Al e Si bastante significativos em relação da composição química.

4.4.1.2 Resíduos da produção de cal

A cal utilizada para os corpos de prova foi analisada por DRX, FRX e os resultados indicaram que ela não é pura, pois é constituída pela mistura de óxido de cálcio, óxido de magnésio (periclase), dolomita, portlandita e quartzo, como indicado na Tabela 4.18.

TABELA 4.18 – RESULTADOS DA DRX E FRX PARA A CAL

| DRX | | FRX | |
|------------------|-------------------------------------|--------------------------------|------|
| Nome do Composto | Fórmula química | Componentes | (%) |
| Óxido de cálcio | CaO | CaO | 54,9 |
| Periclase | MgO | MgO | 36,4 |
| Portlandita | Ca(OH) ₂ | SiO ₂ | 7,6 |
| Quartzo | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | 0,5 |
| Dolomita | CaMg(CO ₃) ₂ | Fe ₂ O ₃ | 0,3 |
| | | K ₂ O | 0,1 |
| | | MnO | 0,1 |
| | | SO ₃ | 0,1 |

Na análise térmica da cal residual, de acordo com a Figura 4.7 e Tabela 4.19 observa-se a presença de três picos endotérmicos.

TABELA 4.19 – INTERPRETAÇÃO DE PICOS DE ATD E TG DA CAL RESIDUAL

| Matéria-prima | Endo-efeito 1 | | Endo-efeito 2 | | Endo-efeito 3 | |
|---------------|--------------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|-------------------|
| | Temp. do pico (°C) | Perda de peso (%) | Temp. do pico (°C) | Perda de peso (%) | Temp. do pico (°C) | Perda de peso (%) |
| Cal residual | 96,4 | 27,9 | 392,2 | 5,3 | 779,1 | 19,6 |

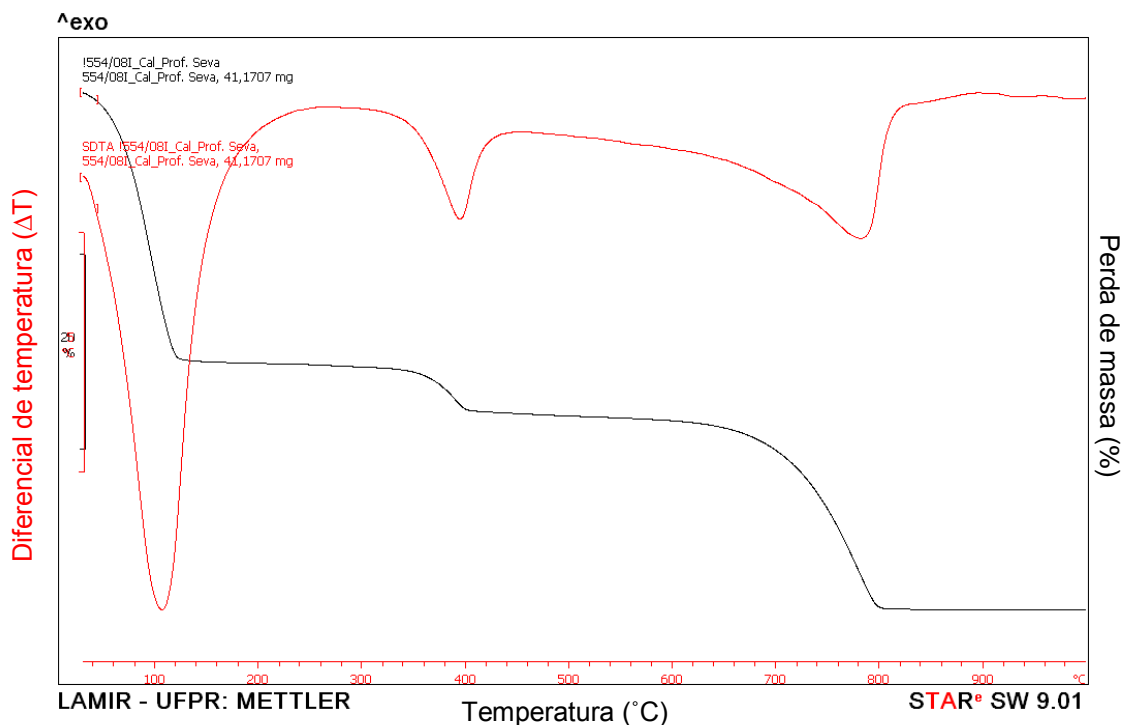


FIGURA 4.7 – CURVAS DE ATD E TG DA CAL RESIDUAL

A curva em vermelho representa a análise de ATD e a TG em preto. O primeiro pico endotérmico, com extremo de 96,4°C, com perda de peso de 27,9%, caracterizando a perda de água livre da amostra. O segundo, com extremo de 392,2°C e com perda de peso de 5,3%, evidencia a destruição das moléculas de $\text{Ca}(\text{OH})_2$, e o último pico, constituído pela descarbonização (destruição de carbonatos), com extremo de 779,1°C e com perda de CO_2 de 19,6%. Segundo a NBR 6.453 (ABNT, 2003), a cal não pode ser comercializada como cal ligante com teor de carbonatos mal queimados superior a 12%. Nesta análise foi identificado o teor de 19,6% de CO_2 , isto é, 44,5% de carbonatos, aproximadamente quatro vezes maior do que a norma permite. Esses dados confirmam sua característica residual.

Na análise de MEV foi observada a composição morfológica da cal residual, conforme Figura 4.8.

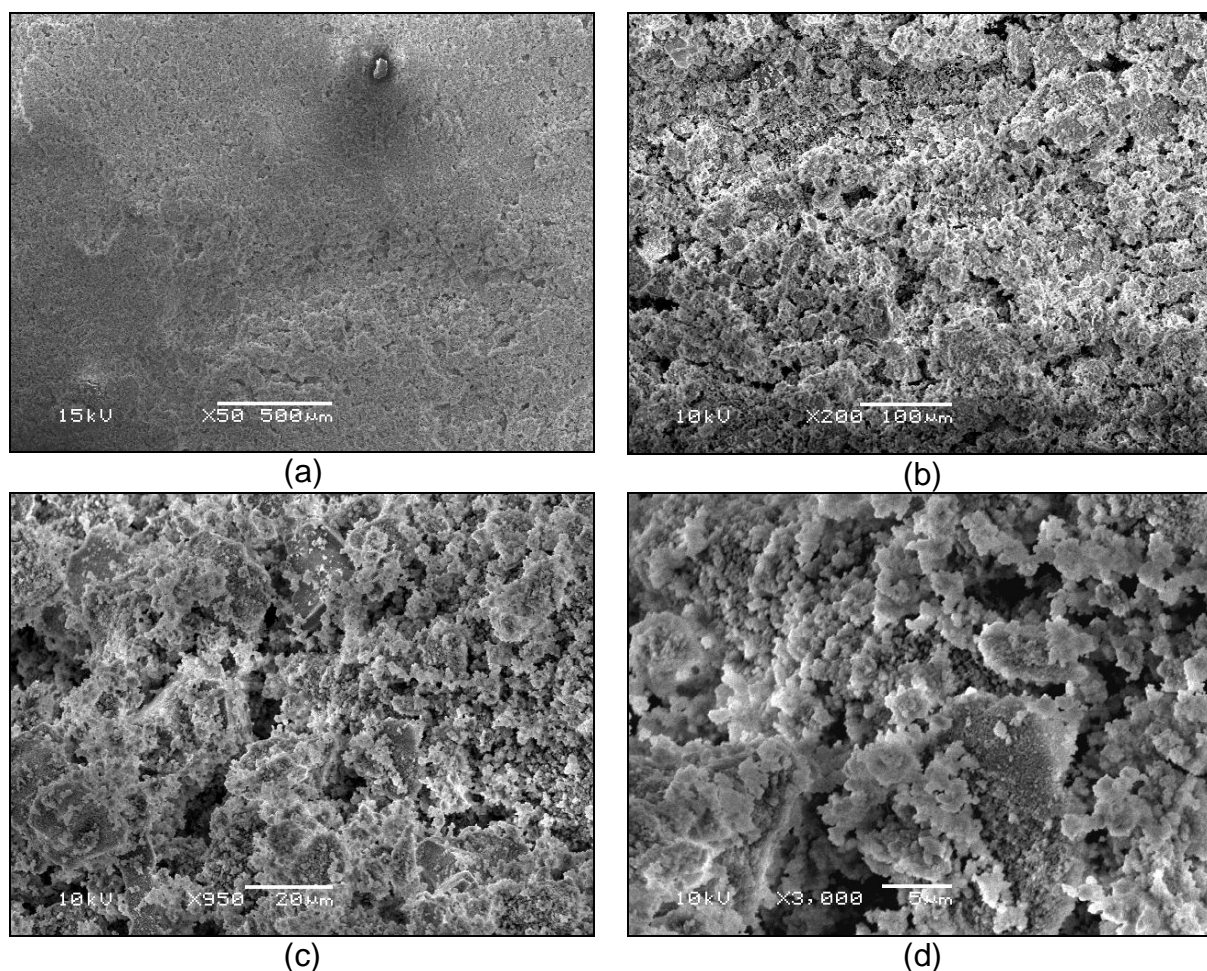


FIGURA 4.8 – MICROGRAFIAS DA CAL RESIDUAL (a) 50X, (b) 200X, (C) 950X E (D) 3000X.

Na Figura 4.8 (a), pode-se observar que a superfície é bastante lisa, uniforme, sem elevações, com elevada rede de poros irregulares, já na ampliação de 200x, Figura 4.8 (b), estes poros são mais visíveis e suas formas irregulares. As partículas não possuem formas cristalinas muito visíveis, com extremidades assimétricas. Estas formas assimétricas são mais visíveis nas Figuras 4.8 (c) e (d). Na ampliação de 3.000x, todas as formações são similares à formações amorfas.

Provavelmente, por isso, nos difratogramas de raios X da mistura seca não são visíveis picos de carbonatos. Entretanto, não se pode afirmar, com certeza, a não existência de formas microcristalinas internas a estas formações amorfas. Uma possível justificativa, é que os resíduos de produção de cal são dispostos a céu aberto e são hidratados pelas chuvas e umidade do ar, transformando-se em

Ca(OH)_2 e pela ação do CO_2 do ar, transformando-se em CaCO_3 . Porém, a sensibilidade, em torno de 5%, do método de DRX não permite a identificação dos picos destes minerais, podendo existir outros minerais com estruturas cristalinas, como por exemplo, a calcita e a dolomita.

4.4.1.3 Cinzas da queima de madeira

A cinza utilizada para os corpos de prova foi analisada por DRX, RFX, ATD com TG, EDS e os resultados foram complementares, indicando uma mistura de óxidos de alumínio, de cálcio e de silício, como mostra a Tabela 4.20.

TABELA 4.20 – RESULTADOS DA DRX E FRX PARA A CINZA

| DRX | | FRX | |
|-----------------------------------|--|-------------------------|------|
| Nome do composto | Fórmula química | Componentes | (%) |
| Alumina | Al_2O_3 | Al_2O_3 | 33,7 |
| Óxido de cálcio | CaO | CaO | 27,8 |
| Quartzo | SiO_2 | SiO_2 | 21,9 |
| Fluorita | CaF_2 | TiO_2 | 3,5 |
| Calcita | CaCO_3 | Fe_2O_3 | 3,5 |
| Hematita | Fe_2O_3 | Na_2O | 2 |
| Óxido de Cálcio, Alumínio e Flúor | $11 \text{CaO}_7\text{Al}_2\text{O}_3$ CaF_2 | F | 1,7 |
| Oxido de Cálcio, Alumínio e Ferro | $\text{CaAl}_2\text{Fe}_4\text{O}_{10}$ | MgO | 1,6 |
| Portlandita | Ca(OH)_2 | Cl | 1 |
| | | BaO | 0,9 |
| | | K_2O | 0,7 |
| | | SO_3 | 0,7 |

Vale ressaltar que na composição das cinzas existem traços de outros óxidos como manganês, fósforo, cobre e estrôncio, além dos que compõem a Tabela 4.20.

De acordo com a Figura 4.9 e Tabela 4.21 observa-se que na análise térmica das cinzas, (ATD) curva em vermelho, e TG, em preto, existe apenas dois picos, um endotérmico e outro exotérmico.

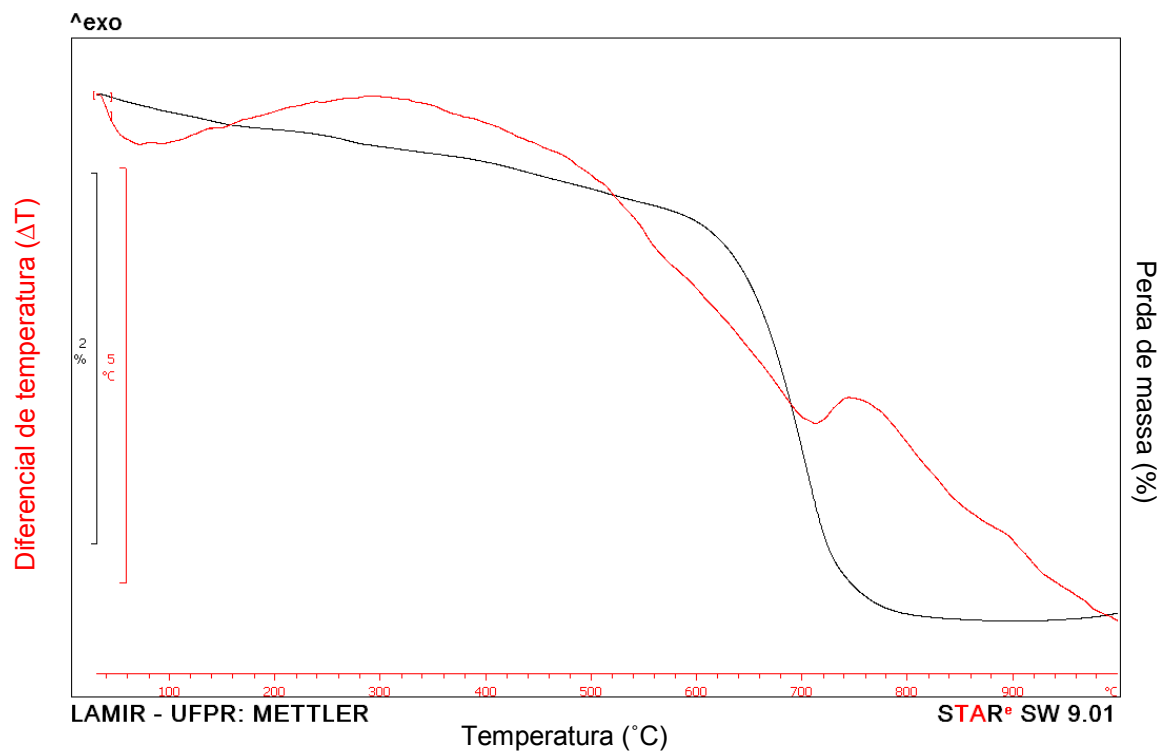


FIGURA 4.9 – CURVAS DE ATD E TG DE CINZAS

TABELA 4.21 – INTERPRETAÇÃO DE PICOS DE ANÁLISE ATD E TG DA CINZA

| Matéria-prima | Endo-efeito 1 | | Endo-efeito 2 | |
|---------------|--------------------|-------------------|--------------------|-------------------|
| | Temp. do pico (°C) | Perda de peso (%) | Temp. do pico (°C) | Perda de peso (%) |
| Cinza | 54,8 | 0,27 | 703 | 2,6 |

O primeiro pico endotérmico, com extremo de 54,8°C e com perda de peso de 0,27%, caracteriza a perda de água livre da amostra. E o outro, com extremo de 703°C e com perda de peso de 2,6%, a destruição de carbonatos.

A composição morfológica da cinza foi observada na análise de MEV, como indica as micrografias na Figura 4.10.

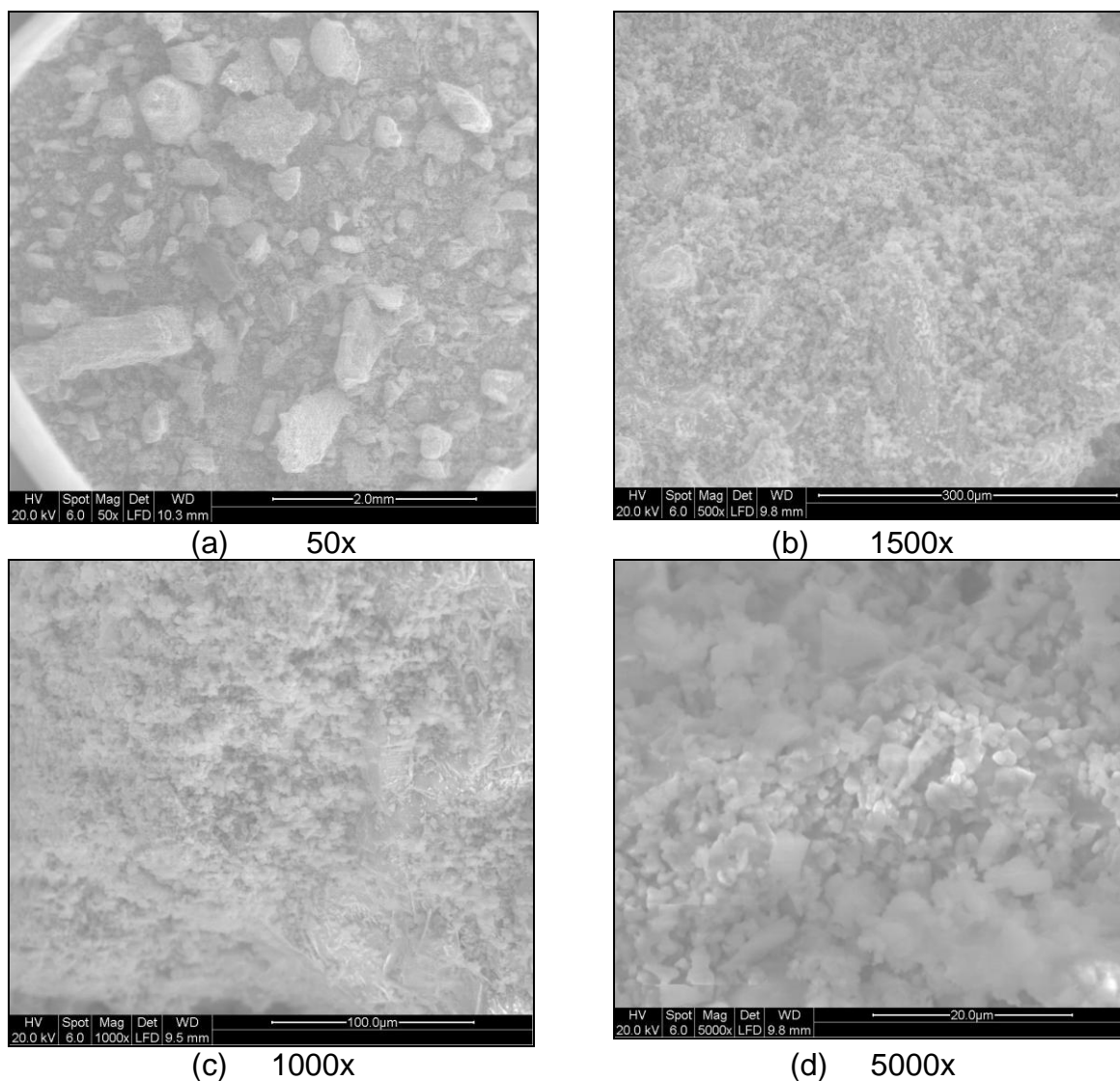


FIGURA 4.10 – Micrografias da cinza (a) 50x, (b) 1500x, (c) 1000x e (d) 5000x.

Na Figura 4.10 (a), percebe-se que o material é todo disforme, sem cristalização, com formas irregulares e diferentes tamanhos. Mesmo após a magnificação, Figuras 4.10 (b), (c) e (d), observa-se que a estrutura desordenada é mantida.

Em conformidade com a análise de FRX, a Figura 4.11 e a Tabela 4.22 permitem observar um maior teor de Ca, Ti, Al, Fe e Si.

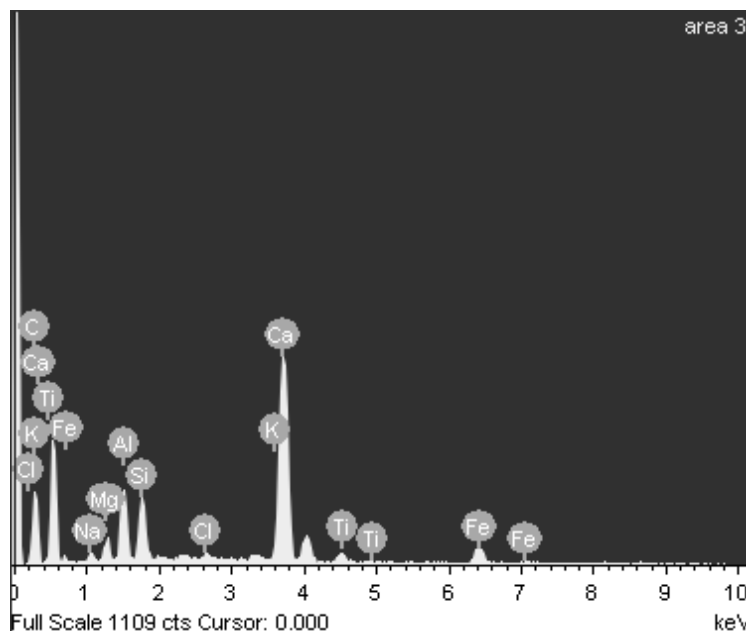


FIGURA 4.11 – MICRO ANÁLISE QUÍMICA DAS CINZAS

TABELA 4.22 – ANÁLISE DA ÁREA GERAL DAS MICROGRAFIAS DA CINZA

| | Na | Mg | Al | Si | Cl | K | Ca | Ti | Fe |
|--------|------|------|------|------|------|------|-------|------|------|
| Área 1 | 3,25 | 1,11 | 7,28 | 4,07 | 1,02 | 0,27 | 45,95 | 4,78 | 4,11 |
| Área 2 | - | - | 8,98 | 3,88 | - | - | 54,29 | - | 8,82 |
| Área 3 | 1,08 | 1,65 | 5,38 | 5,05 | 0,54 | 0,56 | 28,86 | 1,78 | 5,23 |

Ambos métodos confirmam a presença significativa de alumínio e cálcio. A FRX indica maior presença de alumínio (Al), diferentemente da EDS que sinaliza prioritariamente o cálcio (Ca). A diferença entre os valores da FRX e EDS pode ser explicada pela sensibilidade dos métodos, sendo EDS o mais sensível.

4.4.2 Caracterização dos corpos de prova

Foram definidas cinco composições, com a variação de 50-60% de lodo de ETE, agregado a cal residual e as cinzas, conforme apresentado na Tabela 4.23.

TABELA 4.23 – COMPOSIÇÕES DOS CORPOS DE PROVA

| | Composições (%) | | |
|---|-----------------|-----|-------|
| | Lodo | Cal | Cinza |
| 1 | 55 | 15 | 30 |
| 2 | 55 | 20 | 25 |
| 3 | 60 | 25 | 15 |
| 4 | 55 | 25 | 20 |
| 5 | 50 | 25 | 25 |

Para cada uma das cinco composições trabalhadas foram confeccionadas 34 peças. As idades trabalhadas foram de 3, 7, 14, 28, 60 e 90 dias. Perfazendo um total de 204 corpos de prova (Figura 4.12) nas dimensões aproximadas de 20 mm x 20 mm.



FIGURA 4.12 – CORPOS DE PROVA DA COMPOSIÇÃO 1

4.4.2.1 Resistência à compressão

Os resultados da análise da resistência à compressão estão apresentados na Tabela 4.24.

TABELA 4.24 – RESULTADOS DOS TESTES DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

| N | Composições (%) | | | Resistências (MPa) após | | | | | |
|---|-----------------|-------|-----|-------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | Lodo | Cinza | Cal | 3 dias | 7 dias | 14 dias | 28 dias | 60 dias | 90 dias |
| 1 | 55 | 30 | 15 | 3,91 ± 0,07 | 4,56 ± 0,04 | 4,47 ± 0,19 | 4,26 ± 0,18 | 5,59 ± 0,68 | 7,28 ± 0,39 |
| 2 | 55 | 25 | 20 | 1,75 ± 0,33 | 2,60 ± 0,34 | 2,86 ± 0,28 | 3,77 ± 0,42 | 5,16 ± 0,08 | 4,06 ± 0,38 |
| 3 | 60 | 15 | 25 | 1,45 ± 0,14 | 2,04 ± 0,34 | 2,33 ± 0,25 | 2,96 ± 0,46 | 4,03 ± 0,54 | 4,22 ± 0,42 |
| 4 | 55 | 20 | 25 | 2,19 ± 0,16 | 2,50 ± 0,22 | 2,89 ± 0,38 | 3,46 ± 0,13 | 4,00 ± 0,37 | 4,74 ± 0,29 |
| 5 | 50 | 25 | 25 | 2,09 ± 0,14 | 2,17 ± 0,19 | 3,16 ± 0,43 | 3,62 ± 0,50 | 4,71 ± 0,59 | 4,61 ± 0,41 |

Conforme a NBR 7.170 (ABNT, 1983), a resistência uniaxial dos tijolos maciços deve ser menor do que 2,5MPa, para classe A; entre 2,5 e 4,0MPa, para classe B e maior do que 4,0MPa, para classe C. De acordo com a NBR 15.270-2 (ABNT, 2005), a resistência uniaxial dos blocos cerâmicos deve apresentar valores entre 1,5 e 2,5MPa, para a classe 15, e entre 2,5 e 4,5MPa, para a classe 25. Os resultados evidenciam que os materiais desenvolvidos estão em conformidade com as normas citadas e ultrapassam muitas vezes o limite máximo indicado.

Os corpos de prova da composição cinco, após o tempo de cura, foram pulverizados no moinho de tungstênio para as análises de raios-X e análises térmicas.

4.4.2.2 Absorção de água

Os resultados do ensaio de absorção de água por imersão, resistência à água e permeabilidade do material no 28° dia estão apresentados na Tabela 4.25.

TABELA 4.25 – RESISTÊNCIA A ÁGUA E PERMEABILIDADE NO 28° DIA

| N° | Composições, % | | | Parâmetros Estatísticos | Resistência à água (MPa) no 28° dia | | | Permeabilidade, no 28° dia, % de peso |
|----|----------------|-------|-----|-------------------------|-------------------------------------|-----------------------|-----------------|---------------------------------------|
| | Lodo | Cinza | Cal | | R amostras secas, Rs | R amostras úmidas, Ru | *Coeficiente Ca | |
| 1 | 55 | 30 | 15 | Média | 4,26 | 3,32 | 0,78 | 7,53 |
| | | | | Desvio Padrão | 0,18 | 0,22 | 0,06 | 0,49 |
| 2 | 55 | 25 | 20 | Média | 3,77 | 3,02 | 0,80 | 8,19 |
| | | | | Desvio Padrão | 0,42 | 0,27 | 0,04 | 0,73 |
| 3 | 60 | 15 | 25 | Média | 2,96 | 2,43 | 0,82 | 8,08 |
| | | | | Desvio Padrão | 0,46 | 0,17 | 0,09 | 0,58 |
| 4 | 55 | 20 | | Média | 3,46 | 2,59 | 0,75 | 8,15 |
| | | | | Desvio Padrão | 0,13 | 0,11 | 0,04 | 0,82 |
| 5 | 50 | 25 | | Média | 3,62 | 3,01 | 0,83 | 8,21 |
| | | | | Desvio Padrão | 0,50 | 0,19 | 0,08 | 0,55 |

*Coeficiente de resistência à água (Ca) = Ru/Rs

Ru – resistência das amostras úmidas

Rs – resistência das amostras secas

Os valores encontrados para a resistência à água, foram entre 2,43 a 3,02MPa, com coeficiente de resistência à água entre 0,75-0,83. A dilatação dos

corpos de prova foi em torno de 5% e a absorção de água foi entre 8,08 a 8,21% para o tempo de 28 dias. Segundo a NBR 9.778 (ABNT, 2005), o limite permitido para a absorção de água por imersão no tempo de 28 dias, é de até 10%, portanto o material está em conformidade com a norma.

4.4.2.3 Análises de raios-X

Os difratogramas fornecidos pelo *software* são apresentados na Figura 4.13 e os resultados representam as fases cristalinas mais prováveis para a seqüência de picos obtidos na contagem de eventos.

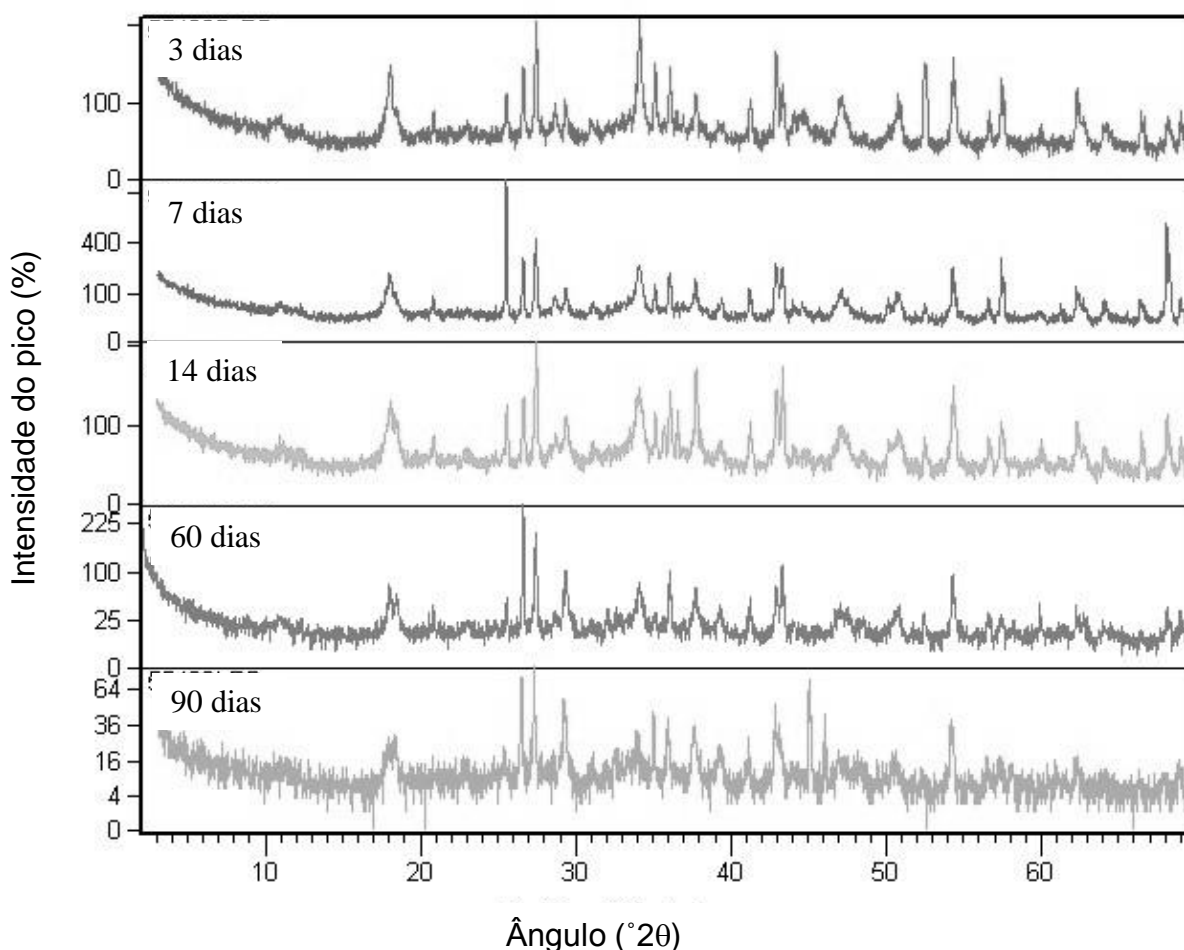


FIGURA 4.13 – COMPARAÇÃO DOS DIFRATOGRAMAS DA COMPOSIÇÃO 5 DE ACORDO COM O TEMPO DE CURA

A Tabela 4.26 apresenta a comparação entre as principais características dos picos durante a cura das amostras: (i) a intensidade dos picos (%); (ii) o nome do mineral; e (iii) a distância (d) entre os planos da estrutura cristalina do mineral, representada em Å (Angstroms). A Tabela 4.27 serve como apoio para a tabela anterior.

TABELA 4.26 – COMPARAÇÃO DA DRX ENTRE OS RESULTADOS DA CURA

| Picos d (Å) | Mudança de Intensidades (%) de picos após (dias) de cura | | | | | Minerais |
|-------------------|---|-------|-------|-------|-------|---|
| | 3 | 7 | 14 | 60 | 90 | |
| 3,11 | 16,72 | 7,68 | 2,83 | 8,93 | - | Portlandita |
| 3,04 | 17,87 | 10,72 | 24,39 | 43,29 | 78,90 | Calcita |
| 2,89 | 7,76 | 4,50 | 5,86 | 7,34 | 9,87 | Dolomita |
| 2,79 | 7,34 | 2,95 | - | - | - | Silicato de cálcio |
| 2,63 | 100,0 | 27,49 | 19,05 | 19,67 | 14,26 | Portlandita |
| 2,55 | 47,54 | 12,83 | 26,41 | 48,77 | 59,46 | Q; Al ₂ O ₃ ; Dolomita |
| 2,49 | 41,49 | 21,22 | 40,97 | 38,10 | 51,04 | Q; Rutila; TiH; Calcita; |
| 2,46 | 12,38 | 4,09 | 2,87 | - | - | Portlandita |
| 2,28 | 6,80 | 5,96 | 7,32 | 10,86 | 22,02 | Q; TiH; Calcita; |
| 2,19 | 19,81 | 10,37 | 19,81 | 15,92 | 22,82 | Rutila; Dolomita |
| 2,09 | 29,30 | 23,60 | 27,65 | 33,51 | - | Al ₂ O ₃ ; TiH; Calcita |
| 2,06 | 10,46 | 3,82 | 6,89 | - | 52,64 | Rutila; Al-Fe; Dolomita |
| 1,928 | 22,49 | 11,18 | 18,79 | - | 15,93 | Portlandita; Calcita |
| 1,820 | 5,10 | 5,10 | 8,07 | 8,24 | 9,36 | Q; Calcita |
| 1,797 | 21,88 | 6,34 | 15,70 | 11,87 | 12,91 | Q; Portlandita; Dolomita |
| 1,690 | 46,98 | 45,37 | 44,80 | 34,22 | - | Rutila; Portlandita; Calcita |
| 1,626 | 10,34 | 6,21 | 11,78 | 9,31 | 14,31 | Rutila; Calcita |
| 1,542 | 4,88 | 1,68 | 11,57 | 10,17 | - | Q; TiH; Dolomita |
| 1,347 | 3,24 | 2,44 | 6,68 | 7,34 | 9,27 | Rutila; Al-Fe; Calcita; Dolomita |

TABELA 4.27 – LEGENDA DA TABELA 4.26

| Código | Mineral | Fórmula Química | Símbolo |
|---------------|--------------------|-------------------------------------|--------------------------------|
| 05-0490 | Quartzo | SiO ₂ | Q |
| 89-0552 | Rutila | Ti _{0,928} O ₂ | Rutila |
| 78-2215 | Hidrato de titânio | TiH _{1,7} | TiH |
| 81-2040 | Portlandita | Ca(OH) ₂ | Portlandita |
| 86-2340 | Calcita | CaCO ₃ | Calcita |
| 29-0369 | Silicato de cálcio | Ca ₂ SiO ₄ | Si-Ca |
| 01-1228 | Ferro-alumínio | Fe ₂ Al ₅ | Al-Fe |
| 75-1862 | Óxido de alumínio | Al ₂ O ₃ | Al ₂ O ₃ |
| 89-5862 | Dolomita | CaMg(CO ₃) ₂ | Dolomita |

A interpretação de difratogramas de substâncias com elevados números de componentes é sempre muito difícil e tem um alto grau de risco devido à coincidência de picos. Para facilitar o processo de pesquisa de transformações mineralógicas das amostras de diferentes idades, por meio de difratogramas, foi elaborada a Tabela 4.26 somente com os valores dos picos mais visíveis e modificações confiáveis.

A partir da análise desta é possível perceber um único pico de silicato de cálcio – Ca₂SiO₄ – após três dias de hidratação, em $d = 2,79\text{Å}$, com intensidade de 7,34%, no 7º dia, com intensidade de 2,95%, desaparecendo completamente no 14º dia. Evidentemente, no meio ambiente alcalino da mistura de resíduo de tinta com o resíduo de produção de cal, o silicato de cálcio foi completamente dissolvido e os produtos desta dissolução ligaram-se quimicamente em novas formações, responsáveis pela cura dos materiais.

Porém, nos 60 dias de hidratação, as maiores mudanças de intensidade ocorrem nos picos de portlandita – Ca(OH)₂. Somente dois picos, $d = 3,11$ e $2,63\text{Å}$, não têm coincidências com picos de outros minerais e, por isso, essas alterações de intensidade são os mais visíveis: de 100 até 9,67%, para o pico $d = 2,63\text{Å}$ e de 16,72 até 3,12%, para o pico $d = 3,11\text{Å}$. Estas diminuições podem ser justificadas pelo decréscimo do teor de portlandita durante a hidratação da mistura de componentes e a cura das amostras.

Outros picos de portlandita apresentam coincidência com vários minerais, os quais mascaram esta dissolução. Mas a maioria deles, como o quartzo ($d = 2,46\text{Å}$) ou quartzo e rutila ($d = 1,453\text{Å}$) ou alumino-ferro ($d = 4,9\text{Å}$) são praticamente inertes no meio ambiente alcalino e não podem explicar as alterações de intensidades significativas destes picos.

Os picos de coincidência de portlandita e calcita, com $d = 1,928$ e $1,690\text{\AA}$, demonstram uma inversão de intensidade, isto é, quando o primeiro diminui, o segundo aumenta. Isso ocorre devido ao processo de absorção de CO_2 do ar, o qual provoca o aumento do teor de calcita e, em contrapartida, a diminuição do teor de portlandita, podendo assim neutralizar graficamente as intensidades dos picos.

É possível observar um efeito semelhante com o pico de dolomita, $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$, em $d = 1,797\text{\AA}$. O crescimento de picos de dolomita tem coincidência com dissolução de picos de portlandita e quartzo inerte. Não obstante, a intensidade deste pico diminui em 10%, significando que a dissolução de portlandita tem predominância em comparação com o crescimento de intensidade de pico de dolomita.

Outro pico que se pode destacar é identificado em $d = 1,744\text{\AA}$, em que a dolomita tem coincidência com o óxido de alumínio – Al_2O_3 . Neste pico houve uma diminuição de 45,29% na intensidade devido à rápida dissolução de Al_2O_3 no meio ambiente alcalino, restando apenas 9,76% para a formação de dolomita.

4.4.2.4 Microscopia eletrônica de varredura com microanálise química

A Figura 4.14 apresenta os resultados da análise de MEV com EDS, os quais confirmam os resultados das análises de DRX. Vale ressaltar que são pontos representativos de toda a superfície da amostra no tempo de 60 dias.

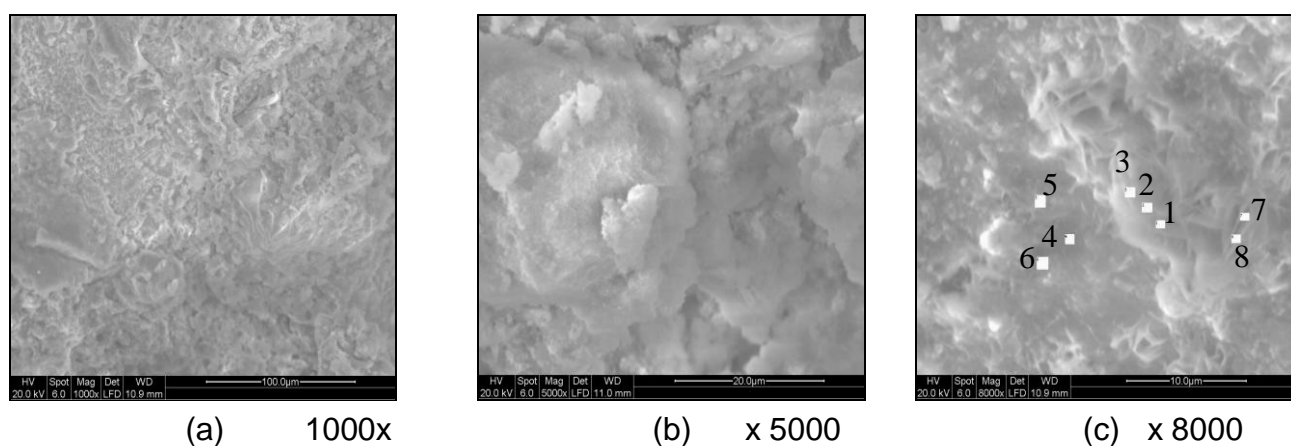


FIGURA 4.14 – MICROGRAFIAS DA AMOSTRA 5 NA IDADE DE 60 DIAS

A morfologia da amostra indica novas formações amorfas. Porém, somente com magnificação máxima (8000x), aparecem estruturas semelhantes a cristalinas.

A Tabela 4.28 apresenta os pontos analisados na microanálise de composição química, indicando uma variação na composição maior do que permite uma estrutura cristalina.

TABELA 4.28 – RESULTADOS DA MICROANÁLISE QUÍMICA (EDS) DOS PONTOS DA FIGURA 3 (c)

| N° | C | Na | Mg | Al | Si | S | Cl | Ca | Ti | Fe |
|------|-------|------|------|------|------|-------|------|-------|-------|------|
| 1 | 13,27 | - | 2,88 | 6,35 | 1,25 | 9,38 | 1,01 | 58,74 | 5,26 | 1,87 |
| 2 | 15,56 | 0,57 | 2,63 | 8,09 | 1,15 | 11,82 | 0,95 | 53,55 | 3,99 | 1,69 |
| 3 | 12,81 | 0,45 | 2,56 | 7,48 | 1,18 | 9,83 | 1,12 | 56,94 | 5,19 | 2,44 |
| 4 | 12,72 | - | 4,59 | 3,74 | 1,99 | 1,77 | 0,71 | 63,59 | 6,36 | 2,01 |
| 5 | 11,96 | - | 4,33 | 3,61 | 1,82 | 2,06 | 0,99 | 63,70 | 6,22 | 2,25 |
| 6 | 10,28 | - | 4,23 | 3,86 | 1,77 | 1,53 | 0,55 | 66,56 | 6,67 | 4,55 |
| 7 | 13,32 | 0,39 | 2,07 | 9,54 | 0,96 | 11,27 | 1,25 | 54,45 | 4,94 | 1,82 |
| 8 | 12,53 | - | 3,25 | 5,31 | 1,59 | 5,56 | 0,89 | 54,66 | 11,17 | 2,74 |
| área | 19,28 | - | 5,30 | 6,08 | 3,74 | 0,97 | 1,19 | 50,15 | 10,72 | 2,57 |

Apesar de pequenos pontos da estrutura se assemelharem a uma estrutura cristalina, a composição microquímica, por meio do método de EDS, não confirma a presença de estruturas cristalinas, pelo fato de existir uma diferença na composição química entre os pontos. A mais importante característica de uma estrutura cristalina é a constância na composição química de todos os pontos do material, o que não ocorre na amostra. Percebe-se também uma diferença significativa na composição de toda a área da amostra em relação à composição de cada ponto analisado.

4.4.2.5 Análises térmicas

Os resultados das análises térmicas, ATD (Figura 4.15) e TG (Figura 4.16), mostram coerência com os resultados dos testes de DRX.

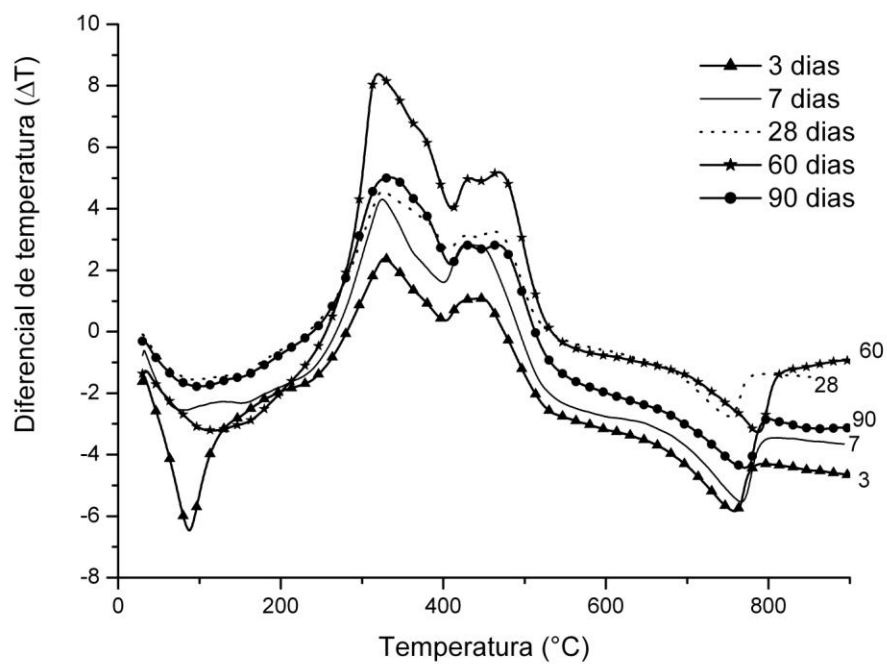


FIGURA 4.15 – COMPARAÇÃO ENTRE CURVAS DE ATD EM DIFERENTES IDADES DE CURA.

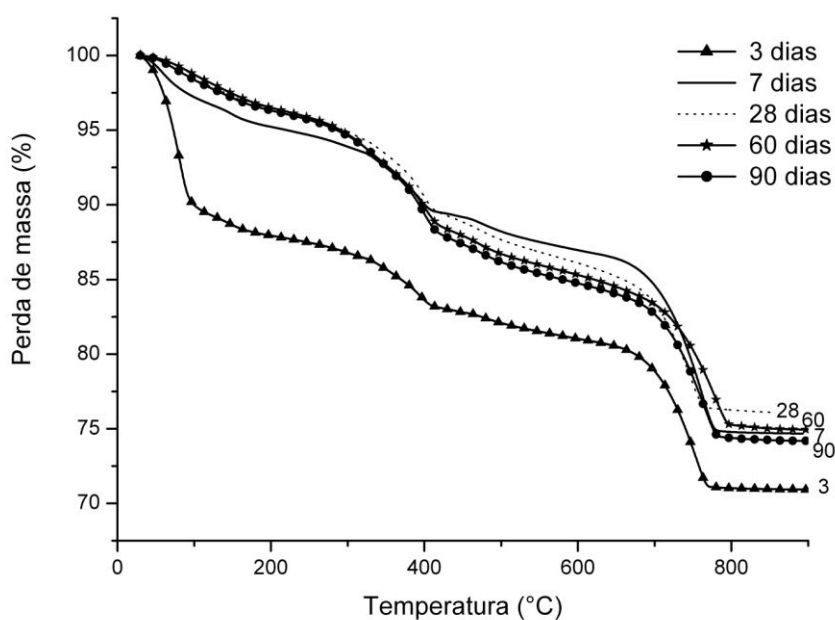


FIGURA 4.16 – COMPARAÇÃO ENTRE CURVAS DE TG EM DIFERENTES IDADES DE CURA.

Os resultados foram analisados e são apresentados na Tabela 4.29.

TABELA 4.29 – INTERPRETAÇÃO DOS PICOS DE ATD E TG DURANTE A HIDRATAÇÃO E CURA DA AMOSTRA 5 DA TABELA 4.23.

| Idade (dias) | Endo-efeito (1) | | Endo-efeito (2) | | Exo-efeito (3) | | Endo-efeito (4) | | Exo-efeito (5) | | Endo-efeito (6) | |
|--------------|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|----------------|-------------------|-----------------|-------------------|----------------|-------------------|-----------------|-------------------|
| | Pico T (°C) | Perda de peso (%) | Pico T (°C) | Perda de peso (%) | Pico T (°C) | Perda de peso (%) | Pico T (°C) | Perda de peso (%) | Pico T (°C) | Perda de peso (%) | Pico T (°C) | Perda de peso (%) |
| 3 | 80,8 | 10,8 | 146,7 | 1,3 | 330,1 | 1,8 | 402,7 | 2,9 | 446,8 | 2,4 | 752,5 | 10,2 |
| 7 | 79,1 | 3,3 | 146,7 | 1,5 | 329 | 3,5 | 401,9 | 2,3 | 431,9 | 2,5 | 760,8 | 11,5 |
| 14 | 79,4 | 1,7 | 147,6 | 1,5 | 332,1 | 2,7 | 408,2 | 2,6 | 436,1 | 2,6 | 767,7 | 11,6 |

NOTA: Endo-efeito (1) – evaporação de água livre dos poros;
 Endo-efeito (2) – evaporação da água ligada mais forte que água livre;
 Exo-efeitos (3 e 5) – oxidação de pigmentos orgânicos;
 Endo-efeito (4) – desintegração de estrutura de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ e outras águas ligadas;
 Endo-efeito (6) – desintegração de estruturas de carbonatos (calcita, dolomita, etc.)

Após a cura de 14 dias, foi observada uma grande mudança nos efeitos térmicos das amostras, por isso optou-se por separar os dados em duas tabelas. Os demais resultados estão sumarizados na Tabela 4.30.

TABELA 4.30 – INTERPRETAÇÃO DOS PICOS DE ATD E TG NAS IDADES DE 28, 60 E 90 DIAS DE HIDRATAÇÃO

| Idade (dias) | Endo-efeito (1) | | Exo-efeito (2) | | Exo-efeito (3) | Exo-efeito (4) | Exo-efeito (3+4) | Endo-efeito (5) | |
|--------------|-----------------|-------------------|----------------|-------------------|----------------|----------------|-------------------|-----------------|-------------------|
| | Pico T (°C) | Perda de peso (%) | Pico T (°C) | Perda de peso (%) | Pico T (°C) | Pico T (°C) | Perda de peso (%) | Pico T (°C) | Perda de peso (%) |
| 28 | 96,4 | 3,0 | 330,6 | 7,0 | 430,1 | 465,2 | 4,5 | 778,9 | 12,3 |
| 60 | 115,1 | 3,6 | 328,4 | 7,3 | 438,3 | 473,2 | 3,7 | 783,4 | 13,0 |
| 90 | 96,9 | 3,7 | 340,7 | 7,7 | 432,5 | 469,5 | 3,9 | 790,6 | 13,7 |

NOTA: Endo-efeito (1) – evaporação de água livre dos poros;
 Exo-efeitos (2, 3 e 4) – oxidação de pigmentos orgânicos;
 Endo-efeito (5) – desintegração de estruturas de carbonatos (calcita, dolomita, etc.)

Vale ressaltar que no início da hidratação, a perda de peso em termos de água livre, especialmente no tempo de três dias, é maior (até 10,8%) do que nas demais idades. Isto pode ser justificado pela demora na absorção da água pelos componentes iniciais. O segundo endo-efeito é quase invisível nas curvas apresentadas, porém utilizando métodos especiais para a visualização de suas

características foi possível identificá-lo. Este efeito ocorreu entre 146 e 155°C, com perda de peso da água ligada praticamente constante.

Os exo-efeitos 3, 4 e 5 são na realidade efeitos exotérmicos devido à oxidação de pigmentos orgânicos das tintas. A perda de peso para o exo-efeito 3 está entre 1,8 e 7,7% e para os exo-efeitos 4 e 5, entre 2,4 e 5,2%. Quanto à desidratação de hidróxido de cálcio, nesta análise não foi possível identificá-la devido à coincidência entre os picos endotérmico de Ca(OH)_2 e o exotérmico da oxidação dos materiais orgânicos. O endo-efeito 6, com extremos entre 752 e 783°C e com perda de peso entre 10,2 e 13,7%, caracteriza o processo de destruição dos carbonatos formados.

As mudanças de extremos de carbonatos confirmam os resultados de DRX, pois com o aumento da idade das amostras a temperatura de decomposição aumenta. No endo-efeito (6) percebe-se uma diferença aproximada de 8°C entre cada idade de amostra, totalizando 28 °C, o que indica uma melhor perfeição na estrutura cristalina do material, após o tempo de cura, sendo, portanto, mais difícil a sua destruição com a temperatura.

No processo clássico de fabricação de tijolos, a partir da argila, o consumo energético é bastante elevado, além de liberar CO_2 liberado para a atmosfera, intensificando o efeito estufa. A fabricação de blocos para a construção civil a partir de resíduos industriais, processo proposto neste trabalho, pode substituir o uso de tijolos. Desta forma, há uma melhora significativa no aspecto ambiental, visto que as matérias-primas são resíduos industriais, além de que no processo de formação ocorre o consumo de CO_2 pela carbonatização. A carbonatização é caracterizada pela formação de calcita na forma de cristais pequenos ou grandes disseminados pela amostra (PESTILHO; MONTEIRO, 2008). A formação de carbonatos ocorre para substituir diversas fases minerais e esta substituição aumenta a resistência do material.

Trabalhos similares de reaproveitamento de resíduos industriais para novos materiais para a construção civil têm sido desenvolvidos com excelentes resultados (CORRÊA; MYMRIN, 2007; BORGIO; MYMRIN, 2007; MYMRIN; PONTE, 2008).

Diante dos resultados analisados e da possibilidade comprovada da aplicação deste reaproveitamento para o lodo físico-químico de ETE de produção de tintas foi elaborado o pedido da patente e seu depósito foi realizado no INPI em Curitiba-PR, datado de 18/12/2008, protocolo n° 200807909545 (anexo 06).

CONCLUSÕES

A pesquisa aqui apresentada constituiu-se de um estudo sobre minimização e reaproveitamento de resíduos de uma indústria de tintas e impressão de papéis decorativos. O setor de fabricação de tintas e vernizes e o setor de limpeza são os maiores geradores de efluentes para a ETE, enquanto as máquinas de impressão de papéis são as responsáveis pelo maior volume de resíduo sólido.

Na etapa de caracterização dos resíduos foram identificados sessenta e dois resíduos diferentes, sendo cinco líquidos e o restante sólidos. A empresa produz, em média, 38,5 ton de resíduos mensais.

Na etapa de hierarquização foi aplicado o modelo matemático de priorização de Cercal (2000). A partir da realização das três análises sugeridas pelo autor (análise de valor, de risco e de facilidade de minimização), foram identificados os dez resíduos mais prioritários para cada tipo de análise. Esgotos sanitários, lodo físico-químico, papéis impressos, lixo orgânico, embalagens de papelão contaminado, água residuária, descarte de verniz, lodo biológico, lixo de banheiros, papelão do chão foram, nessa ordem, os dez resíduos mais prioritários em relação à análise por valor.

Descarte de verniz (R13), papel crepe com tinta UV (R38), potes plásticos de análise com tinta UV (R50), copo plástico com tinta base UV (R12), plásticos com tinta UV (R48), papel impresso com tinta UV (R40), palitos com tinta UV (R34), resíduos de tintas UV (R53), resina melamínica (R54) e esgotos sanitários (R17) são os dez resíduos prioritários em relação à análise por risco.

Lodo biológico da ETE (R27), EPI (R16), água residuária (R03), lixo orgânico (R26), copo plástico (R10), lodo físico-químico da ETE (R28), madeira (R30), papel crepe com tinta UV (R38), papel crepe com tinta à base d'água (R37) e palitos com tinta à base d'água (R33) são os dez resíduos prioritários em relação à análise por facilidade de minimização.

Água residuária, copo plástico, descarte de verniz, esgoto sanitário, lixo orgânico, lodo biológico da ETE, lodo físico-químico da ETE, papel crepe com tinta UV estão entre os dez resíduos prioritários em, pelo menos, duas das análises.

Apesar do autor não reconhecer a análise global como um índice confiável, na presente pesquisa esta análise foi utilizada tendo em vista sua efetividade no gerenciamento dos resíduos na empresa estudada. Na análise global, os resíduos

mais prioritários, nesta ordem, são: lodo físico-químico (R28), lixo orgânico (R26), água residuária (R03), lodo biológico (R27), copo plástico (R10), esgotos sanitários (R17), papelão contaminado do chão (R43), papel crepe com tinta à base d'água (R37), papel crepe com tinta UV (R38) e EPI (R16). Estes resultados confirmaram a atual necessidade da empresa.

Neste estudo, diversas alternativas de minimização foram propostas, as quais se adotadas, representaria um ganho anual de R\$ 47.740,00 para a empresa pesquisada.

A partir desta pesquisa, pode-se afirmar que qualquer processo industrial pode ser aperfeiçoado com o uso de técnicas de minimização e de reaproveitamento.

A contribuição do modelo de priorização de Cercal (2000) traz benefícios ambientais, melhor disposição de resíduos e menor passivo ambiental, e, também, benefícios financeiros devido ao melhor gerenciamento dos resíduos. Portanto, o método adotado se mostra como uma ferramenta útil para o desenvolvimento sustentável no gerenciamento de resíduos.

Os resultados do reaproveitamento mostram que o lodo físico-químico da ETE, resíduo de indústria de tintas e impressão de papel decorativo, pode ser utilizado como matéria-prima na proporção de 50 a 60%, em peso, para a produção de blocos para a construção civil.

Os resultados obtidos a partir das análises de resistência à compressão do bloco produzido demonstram alta resistência à ruptura à compressão (7,28MPa). Este aumento na resistência pode ser explicado pelo surgimento de novas formações amorfas e cristalinas e também pelo aumento da quantidade e da intensidade dos picos, indicando um nível de cristalização mais perfeita, diminuindo a quantidade de defeitos nas estruturas cristalinas, que foi confirmado nas análises de raios X e análises térmicas.

Os materiais desenvolvidos são economicamente atrativos devido ao baixo custo das matérias-primas (resíduos industriais) e aos grandes benefícios adicionais esperados devido à transformação de material passivo, geralmente dispostos em aterro industrial, para material ativo na fabricação de materiais para a construção civil. O resíduo industrial, que antes representava ameaça de contaminação ambiental, agora, também, oportuniza a diminuição da extração de matérias-primas para a produção de materiais para a construção civil.

SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Propor o reaproveitamento de outros resíduos deste tipo de processo industrial;
- Implantar as alternativas propostas e avaliar os resultados;
- Solucionar o problema de odor do material estudado;
- Realizar um estudo comparativo de outra unidade industrial com o mesmo de processo industrial;
- Desenvolver uma tecnologia viável economicamente para tratar o odor do lodo físico-químico de ETE;
- Propor o reaproveitamento do lodo físico-químico da ETE como carga para tintas de segunda linha, devido à alta concentração de dióxido de titânio existente, mas lembrando, primeiramente, de solucionar o problema de odor existente;
- Elaborar projeto técnico para o uso de água cinza e da água da chuva, NBR 15.527 (ABNT, 2007), para lavagem de áreas de passeio, irrigação de áreas de jardinagem, lavagem de pisos e descarga nos banheiros;
- Desenvolver um *software* a partir do modelo de priorização de Cercal (2000), aprimorando-o em relação às análises de risco e facilidade de minimização.
- Realizar um estudo econômico comparativo entre o custo de produção de tijolos usando a tecnologia clássica e a tecnologia proposta.

REFERÊNCIAS

AGENDA 21. Capítulo 4 – **Mudança nos padrões de consumo**. Conferência das nações unidas sobre meio ambiente e desenvolvimento. Brasília: Ministério do Meio Ambiente – MMA, 1992. Disponível em <http://www.uff.br/cienciaambiental/agenda21.pdf> acessado em 13/10/2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 6.453**: Cal virgem para a construção civil – requisitos. Rio de Janeiro, 2003.

ABNT. **NBR 7.155**: Papel – Determinação do tempo de absorção de água (Ensaio da gota). Rio de Janeiro, 2003.

ABNT. **NBR 7.170**: Tijolo maciço cerâmico para alvenaria. Rio de Janeiro, 1983.

ABNT. **NBR 9.778**: Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2005.

ABNT. **NBR 10.004**: Resíduos Sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004.

ABNT. **NBR 10.006**: Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.

ABNT. **NBR 10.007**: Amostragem de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.

ABNT. **NBR 15.270-2**: Componentes cerâmicos - Parte 2: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural - Terminologia e requisitos. Rio de Janeiro, 2005.

ABNT. **NBR 15.527**: Água da chuva – Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins potáveis - Requisitos. Rio de Janeiro, 2007.

AGUILERA, J.M; STANLEY, D.W. ***Microstructural principles of food processing and engineering***. 2 ed. An Aspen Publication: Springer Verlag, 1999. 432p.

BIRKENSHAW, J.W. Printing Process. In: LEACH, R.H.; PIERCE, R.J.; HICKMAN, E.P.; MACKENZIE, M.J.; SMITH, H.G. **The printing ink manual**. Dordrecht, Boston, London: Kluwer Academic Publishers, 1999. p. 14-85.

BORGO, S.C. **Minimização e Reciclagem de lodo galvânico e poeira de jateamento**. Curitiba, 2005. 135 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) – UFPR.

BORGO, S. C.; MYMRIN, V. *Galvanic processes wastes recycling for producing of ceramic materials*. **Resources, conservation & recycling**, v. 38, 2007, p. 137.

CAPRA, F. **O ponto de mutação**. São Paulo: Cultrix, 1982. 447p.

CAPRA, F. Alfabetização ecológica: o desafio para educação do século 21. Separata de: TRIGUEIRO, A. **Meio Ambiente no século 21: 21 especialistas falam de questão ambiental nas suas áreas de conhecimento**. Rio de Janeiro: Sextante, 2003, p.18-33.

CENDOFANTI, A. C. **Minimização de resíduos de uma fábrica de carvão ativado e de goma resina**. Curitiba, 2005. 96 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) – UFPR.

CERCAL, S. R. **Proposição de modelo matemático de seleção de prioridades de minimização de resíduos industriais**. Curitiba, 2000. 78 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) – UFPR.

COLANZI, J; PIETROBON, C.L.R. **Caracterização físico-química e térmica de lodo gerado no processo de tratamento dos efluentes de lavanderia têxtil**. XI Encontro Anual de Iniciação Científica - Universidade Estadual de Maringá – PR. 2002.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL – CETESB. **Implementação de um Programa de Prevenção à Poluição**. São Paulo, 2002. 19p. Disponível em http://www.cetesb.sp.gov.br/tecnologia/producao_limpa/documentos/manual_implem.pdf. acessado em 14 de setembro de 2008.

CORRÊA, S. M. **Compósito à base de resíduos de concreto e resíduos de produção de cal**. Curitiba, 2005. 107 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais) – UFPR.

CORRÊA, S. M.; MYMRIN, V. *New construction material from concrete production wastes and lime production waste*. **Construction and Building Materials**. v. 21, 2007. p. 578-582.

CRITTENDEN, B., KOLACZKOWSKI, S. **Waste minimization: a practical guide**. Rugby: Institution of Chemical Engineers, 1995. 81p.

DIAS, R. **Gestão ambiental: responsabilidade social e sustentabilidade**. São Paulo: Atlas, 2006. 196p.

DUARTE, L. C., JUCHEM, P. L, PULZ, G. M; BRUM, T. M. M. de, CHODUR, N; LICCARDO, A.; FISCHER, A. C.; ACAUAN, R. B. Aplicações de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e Sistema de Energia Dispersiva (EDS) no Estudo de Gemas: exemplos brasileiros. **Pesquisas em Geociências**. 3-15p. Porto Alegre: 2003.

EL-FADEL, M.; ZEINATI, M.; EL-JISR, K.; JAMALI, D. *Industrial waste management in developing countries: the case of Lebanon*. **Journal of Environmental Management**. V.61, n 4. USA: 2001. p. 1-23.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – EPA. **Waste minimization opportunity assessment manual**. Ohio: EPA, 1988. 96p.

FAZENDA, J. M. R.; DINIZ, F. D. **Tintas e vernizes – ciência e tecnologia**. ABRAFATI. São Paulo: Edgard Blucher Iv, 2005. 1044p.

FURTADO, J. S (coordenador). **Manual de prevenção de resíduos na fonte & economia de água e energia**. São Paulo: Fundação Vanzolini, 1998.

FURTADO, M.R. Aterros especiais: oferta responsável não impede de descarte em lixões. **Revista Química e Derivados**. V. 434. São Paulo: 2005.

GIACOBELLI, J. R. **Apostila de treinamento: Superfícies decorativas**. Araucária: 2000.

GILBERT, M. J. ISO 14001/ BS 7750 **Sistema de gerenciamento ambiental**. São Paulo: IMAM, 1995.

GREENWOOD, R. **Construction waste minimization – Good practice guide**. Cardiff University: Wales, 2003.

GRUBHOFER, F.O.N.F. **Minimização de resíduos em uma indústria gráfica de cartões plásticos**. Curitiba, 2006. 146 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) – UFPR.

HOLT, C.P.; PHILLIPS, P.S.; BATES, M.P. *Analysis of the role of wastw minimization clubs in reducing industrial water demand in the UK*. **Resources, Conservation and Recycling**. v.30, n.4. USA: novembro 2000. p. 315-331.

IKEMATSU, P. **Estudo de refletância e sua influência no comportamento térmico de tintas refletivas e convencionais de cores correspondentes**. São Paulo, 2007. 117 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de construção civil e urbana) – USP.

ILOMAKI, M.; MELANEN, M. *Waste minimization in small and medium sized enterprises – do environmental management systems help?* **Journal of Cleaner Production**. v.9, n.3.USA: junho 2001.p. 209- 217.

KIELY, G. **Ingeniería ambiental: fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión**. Madri: MacGraw Hill, 1999.

LEACH, R.H.; PIERCE, R.J. *The nature of printing ink*. In: LEACH, R.H.; PIERCE, R.J.; HICKMAN, E.P.; MACKENZIE, M.J.; SMITH, H.G. **The printing ink manual**. Dordrecht, Boston, London: Kluwer Academic Publishers, 1999. p. 1-13.

LEITE, B.Z. **Minimização de resíduos em uma indústria de alimentos da Região Metropolitana de Curitiba**. Curitiba, 2003. 177 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) – UFPR.

LEITE, B.Z; PAWLOWSKY, U. Metodologia de minimização de resíduos. **Brasil Alimentos**. ano III, nº 14. São Paulo: julho 2002. p. 31-36.

LIMA, J. A. R. **Proposição de diretores e elaboração de textos básicos para normalização de resíduo de construção reciclado e de suas aplicações em argamassas e concretos**, 1999. 240p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidades de São Paulo, São Carlos, 1999.

LORA, E.E.S. **Prevenção e controle da poluição nos setores energético, industrial e de transporte**. 2º Edição. Rio de Janeiro: Interciência, 2002. 481p.

MAIDA, E. C. **Uma alternativa de ensaio acelerado para precisão da resistência à compressão do cimento Portland utilizando energia de microondas.** São Paulo, 1989. 242 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – USP.

MATOS, S.V.; SCHALCH, V. **Alternativas de minimização de resíduos da indústria de fundição.** In: *Congresso Interamericano de Ingeniería y Ambiental*, 27., 2000, Porto Alegre. Relação de Trabalhos. Porto Alegre: ABES, CD-ROM. p. 1742-1753. 2000.

MELLOR, W.; WRIGHT, E.; CLIFT, R.; AZAPAGIC, A.; STEVENS, G. *A mathematical model and decision-support framework for material recovery, recycling and cascaded use.* **Chemical Engineering Science.** v. 57, n. 18. USA: setembro 2002. p. 3819-3830.

METCALF & EDDY. **Wastewater engineering – treatment and reuse.** 4^a Edition. New York: Mc GrawHill, 2003. 1812p.

MYMRIN, V.; PONTE H.A. *Engenharia Sanitária e Ambiental através de utilização de resíduos industriais como matérias-primas principais de produção de materiais de valor.* **31° Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental.** Santiago de Chile: 2008. p. 12-15.

MORI, A. Conversando com Alberto Mori sobre os Papéis dos Eucaliptos: Papéis Decorativos. **Eucalyptus online book & newsletter.** n°. 14. Porto Alegre: Graus Celsius, abril 2008. Disponível em http://www.eucalyptus.com.br/newspt_abril08.html acessado em 14 de setembro de 2008.

NAGATA, N; BUENO, M.I.M.S; PERALTA-ZAMORA, P.G. Métodos matemáticos para correção de interferências espectrais e efeitos interelementos na análise quantitativa por fluorescência de raios-x. **Química Nova**, Vol. 24, No. 4, 531-539, 2001.

NEVILLE, Adam M. **Propriedades do Concreto.** Tradução Salvador E. Giamusso. 2^a edição. São Paulo: PINI, 1997.

PAVONI, J.L.; HEER JR, J.E.; HAGERTY, D.J. **Handbook of solid waste disposal: materials and energy recovery.** Van Nostrand Reinhold environmental engineering series, 1975. 549p.

PAWLOWSKY, U. **Reaproveitamento de resíduos industriais**. Curitiba: SUREHMA, 1983. 65p.

PAWLOWSKY, U. **Tecnologia Limpa**. Curso de mestrado em Tecnologia Química com ênfase em Tecnologia de Alimentos. Universidade Federal do Paraná, 105p., 2002.

PESTILHO, A. L. S; MONTEIRO, L. S. M. **Caracterização petrográfica das zonas de alteração hidrotermal e paragênese do minério de cobre e ouro do alvo castanha, província mineral de Carajás**. Foz do Iguaçu, 2008. IV Simpósio de Vulcanismo e Ambientes Associados.

PETRUCCI, E. G. R. **Concreto de Cimento Portland**. 12^a. edição. Editora Globo, 1993.

PICON, C. A.; ALMEIDA, E. F.; OLIVEIRA, N.T.C.; GUASTALDI, A.C. **Caracterização de superfícies de titânio irradiadas com laser nd: yag e depositadas com hidroxiapatita**. Foz do Iguaçu, 2006. 17^o CBECIMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais.

RETTA, N. *Cleaner industrial production practice in Ethiopia: problems and prospects*, **Journal of Cleaner Production**. v.7, n.6. USA: dezembro, 1999. p.409-412.

SACHS, I. **Estratégias de transição para o século XXI**: desenvolvimento e meio ambiente. São Paulo: Studio Nobel, Fundap, 1993. 104p.

SCHIANNETZ, K. **O eco-balanço - um instrumento de gestão ambiental para a verificação sistemática de aspectos ambientais significantes de acordo com a ISO 14.001**. In: *Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental*. Porto Alegre: ABES, 2000. p. 2366-2373.

SEIFFERT, M.E.B.; LOCH, C. *Systemic thinking in the environmental management: support for the sustainable development*. **Journal of Cleaner Production**. v.13. Outubro, 2005. p. 1197-1202.

SEIFFERT, M.E.B. **Gestão ambiental**: instrumentos, esferas de ação e educação ambiental. São Paulo: Atlas, 2007. 314p.

SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL – SENAI-RS. **Implementação de Programas de Produção mais Limpa**. Porto Alegre: CNTL, 2003. 46p.

SILVA, C.R. **Cais Aditivadas com Pozolanas e Cimento Portland**, Dissertação de Mestrado, CCT/DEQ/UFPB, Campina Grande-PB, 1992.

SILVA, A. R.; VERONEZI, A.M; MANTOVANI, R.A, ZOREL Junior, H.E; RIBEIRO, C.A; CRESPI, M.S. Identificação e quantificação de resinas, cargas e pigmentos em tintas látex branca. **Revista Eclética Química**. vol.25. São Paulo, 2000.

SILVA, P. F., RICELLY, L., MAIA, L., NAHON, S. **Aplicação da metodologia da 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.

SOUZA, K. E. **Estudo de um método de priorização de resíduos industriais para subsídio à minimização de resíduos químicos de laboratórios de universidades**. São Carlos, 2005. 103 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Setor de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Federal de São Carlos.

SPECK, J. **Consistently Automated Rotogravure**. Alemanha: Deutscher Drucker, 2001. Disponível em http://www.automation.siemens.com/download/internet/cache/3/1305460/pub/en/kochsiek_e.pdf acesso em 20 de outubro de 2008.

TEIXEIRA, B.A.N.; ZANIN, M. Reciclagem e reutilização de embalagens. In: **Metodologias e técnicas de reutilização de resíduos sólidos urbanos**. Programa de pesquisas em saneamento básico – PROSAB. Rio de Janeiro: ABES, 1999. p. 25-30.

TEIXEIRA, E.N.; BIDONE, F.R.A. Conceitos básicos. In: **Metodologias e técnicas de reutilização de resíduos sólidos urbanos**. Programa de pesquisas em saneamento básico – PROSAB. Rio de Janeiro: ABES, 1999. p. 15-21.

TIMOFIECSYK, F. R. **Minimização de resíduos numa indústria de alimentos da Região Metropolitana de Curitiba - PR**. Curitiba, 2001. 161 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) – Setor de Tecnologia Química, Universidade Federal do Paraná.

TSAI, W. T.; CHOU, Y. H. *Government policies for encouraging industrial waste reuse and pollution prevention in Taiwan. Journal of Cleaner Production.* v. 12, n. 7. USA: setembro, 2004. p. 725-736.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME – UNEP. ***Environmental Agreements and Cleaner Production: questions and answers.*** UNEP: *Division of Technology, Industry & Economics*, 2006. 28p. Disponível em http://www.unep.org/pdf/dtie/CP_MEA_and_Cleaner_Production.pdf acesso em 16 de setembro de 2008.

WEI, M.S.; WEBER, F. *An expert system for waste management. Journal of Environmental Management.* v. 46, n.4. USA: abril 1996. p. 345-358.

WIEMES, L. **Minimização de resíduos no processo de pintura da indústria automotiva.** Curitiba, 2003. 102 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) – Setor de Tecnologia Química, Universidade Federal do Paraná.

ANEXO 01

Produção e quantificação anual de resíduos

| | Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | | |
|--|------------|------------|------------|------------|------------|------------|--------------|--------------------|
| Papel BP (m²) | 3.342 | 1.993 | 1.779 | 2.595 | 3.262 | 3.604 | | |
| Papel FF (m²) | 807 | 2.171 | 1.062 | 2.765 | 1.157 | 1.338 | | |
| Total de produção (m²) | 4.149 | 4.164 | 2.841 | 5.360 | 4.419 | 4.942 | | |
| kg de resíduos / 1000 m² produzidos | 9,0 | 8,9 | 11,3 | 7,8 | 8,7 | 8,2 | | |
| Total de resíduos (Kg) | 37.166 | 37.226 | 31.982 | 41.966 | 38.236 | 40.309 | | |
| | Jul | Ago | Set | Out | Nov | Dez | Anual | Méd. mensal |
| | 3.312 | 2.769 | 2.448 | 2.804 | 3.513 | 3.307 | 34.728 | 2.894 |
| | 1.975 | 1.420 | 2.344 | 2.842 | 1.221 | 193 | 19.294 | 1.608 |
| | 5.287 | 4.189 | 4.792 | 5.646 | 4.734 | 3.500 | 54.022.971 | 4.502 |
| | 7,9 | 8,9 | 8,3 | 7,6 | 8,3 | 9,7 | - | 8,6 |
| | 41.677 | 37.325 | 39.715 | 43.100 | 39.485 | 34.022 | 462.207 | 38.517 |

ANEXO 02

continua

| FICHA DE CARACTERIZAÇÃO DE RESÍDUO | |
|---|--|
| DESCRIÇÃO DO RESÍDUO | |
| Código: _____ | Resíduo: _____ |
| Local de Geração: _____ | |
| Área: _____ | |
| Tipo: | () sólido () líquido () gasoso |
| ANÁLISE POR VALOR | |
| Quantidade gerada (W_{Total}): _____ | Unidade: _____ |
| Forma de Coleta: _____ | |
| Composição básica: _____ | |
| Relação com o processo (?): | () intrínseco () semi-intrínseco () extrínseco |
| Fator de Constância (K_{jk}): | () fixo () semi-fixo () variável |
| Hierarquia de prioridades: | () eliminar () reduzir () reciclar () tratar/dispor |
| CLASSE DE DESTINAÇÃO: | |
| <u>Natureza da destinação/beneficiamento/função</u> | <u>Localidade do destino final</u> |
| () reutilização direta/função original | () na fonte |
| () reutilização direta/função diferente da original | () outro equipamento |
| () reutilização com beneficiamento/função original | () outra unidade produtiva |
| () reutilização com beneficiamento/função diferente da original | () outra fábrica |
| () disposição final adequada | () outra fábrica/beneficiado onde gerado |
| () disposição final inadequada | |
| () resíduo sem destinação final definida | |
| Identificação da classe (cenário atual): _____ | Base do IPHMR (? _B): _____ |
| Identificação da classe (cenário futuro): _____ | Valor Unitário (\$ ⁺ _i): _____ |
| CUSTO UNITÁRIO PARA: | |
| Beneficiamento (\$ ⁻ _{Bhjk}): _____ | |
| Tratamento e Disposição (\$ ⁻ _{TDhjk}): _____ | |
| Transporte (\$ ⁻ _{Thjk}): _____ | |
| Geração e Permanência (\$ ⁻ _{GP_{hjk}}): _____ | |
| Retorno obtido (\$ ⁺ _{Rhjk}): _____ | |

conclusão

ANÁLISE POR RISCOS

Existem leis aplicáveis? SIM NÃO

Existem dados relacionados à geração e destinações? SIM NÃO

Ocorreram danos à saúde humana? JÁ OCORREU EM POTENCIAL ISENTO

Ocorreram reclamações de moradores vizinhos? JÁ OCORREU EM POTENCIAL ISENTO

Ocorreram penalidades aplicadas? JÁ OCORREU EM POTENCIAL ISENTO

PERICULOSIDADE (π): PERIGOSO NÃO INERTE INERTE

ANÁLISE POR FACILIDADE DE MINIMIZAÇÃO

Para minimização deste resíduo será necessário:

| | | |
|-------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Parar equipamento? | <input type="checkbox"/> SIM | <input type="checkbox"/> NÃO |
| Parar processo? | <input type="checkbox"/> SIM | <input type="checkbox"/> NÃO |
| Parar unidade? | <input type="checkbox"/> SIM | <input type="checkbox"/> NÃO |
| Modificar equipamento? | <input type="checkbox"/> SIM | <input type="checkbox"/> NÃO |
| Modificar processo? | <input type="checkbox"/> SIM | <input type="checkbox"/> NÃO |
| Modificar unidade? | <input type="checkbox"/> SIM | <input type="checkbox"/> NÃO |
| Implantar equipamento? | <input type="checkbox"/> SIM | <input type="checkbox"/> NÃO |
| Implantar processo? | <input type="checkbox"/> SIM | <input type="checkbox"/> NÃO |
| Implantar unidade? | <input type="checkbox"/> SIM | <input type="checkbox"/> NÃO |
| Tecnologia disponível? | <input type="checkbox"/> SIM | <input type="checkbox"/> NÃO |
| Mão-de-obra disponível? | <input type="checkbox"/> SIM | <input type="checkbox"/> NÃO |
| Recursos disponíveis? | <input type="checkbox"/> SIM | <input type="checkbox"/> NÃO |

Quando comparado aos demais resíduos, o custo para minimização (CM_{jk}) é:

muito alto alto baixo muito baixo

SUGESTÕES DE MINIMIZAÇÃO:

OBSERVAÇÕES:

Respondido por: _____

Data: __/__/____

ANEXO 03

Exemplo da aplicação das fórmulas e dos parâmetros do modelo matemático

Resíduo: Lodo físico-químico da ETE (R28)

A. Análise do resíduo por valor

TABELA 3.2: CARACTERÍSTICAS DAS CLASSES DE DISPOSIÇÃO

Classe de disposição – 5C

Disposição em aterro industrial

TABELA 3.3: PARÂMETROS MATEMÁTICOS DAS CLASSES DE DISPOSIÇÃO

| Destino | Classe | $D^{S/N}_{\$+}$ | $D^{S/N}_{\$-}$ B | $D^{S/N}_{\$-}$ T | $D^{S/N}_{\$-}$ TD | $D^{S/N}_{\$-}$ GP | $D^{S/N}_{\$+R}$ | ξ_B |
|---------|--------|-----------------|----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------|---------|
| Aterro | 5-C | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | -0,60 |

Variáveis do modelo matemático características do resíduo:

Relação com o Processo (Ω): 1

Constância de Geração (K_{jk}): 1,1

Valor substancial do resíduo ($\Delta S^{\%}_i$): 1,00

Base do IPHMR (ξ_B): - 0,60

Quantidade total do resíduo (W_{Total}): 63.778,8 (Kg/ano)

TABELA 4.3: VARIÁVEIS PARA CÁLCULO DO VALOR UNITÁRIO DO RESÍDUO NÃO CORRIGIDO

| Valor unitário do Resíduo ($\$^+$) | Custo de Beneficiamento ($\$^-_B$) | Custo de Transporte ($\$^-_T$) | Custo de Tratamento e Disposição ($\$^-_{TD}$) | Custo de Geração e Permanência ($\$^-_{GP}$) | Retorno obtido ($\^+_R) | $\$'$ |
|--------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|--|--|-----------------------------|-----------|
| R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,14 | R\$ 0,03 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | -R\$ 0,17 |

A.1 Cálculo do IPHMR (ξ)

$$\xi = \xi_B \times (\Delta S^{\%}_i) \text{ (Equação 09)}$$

$$\xi = - 0,60 \times 1,00$$

$$\xi = - 0,60$$

A.2 Cálculo do Valor unitário do resíduo não corrigido ($\$'$)

$$\$' = \$^+ - \$^-_B - \$^-_T - \$^-_{TD} - \$^-_{GP} + \$^+_R \text{ (Equação 10)}$$

$$\$' = 0,00 - 0,00 - 0,14 - 0,03 - 0,00 - 0,00 + 0,00$$

$$\$' = -0,17$$

A.3 Cálculo do fator de correção para valores negativos do resíduo (δ^-)

$$\bar{\delta} = (1 - \xi) * (K \times \Omega) \text{ (Equação 14)}$$

$$\bar{\delta} = (1 + 0,60) * (1,1 \times 1,0)$$

$$\bar{\delta} = 1,76$$

A.4 Cálculo do valor unitário do resíduo corrigido (\$)

$$\$' < 0 \Leftrightarrow \$ = \$' \times \bar{\delta} \text{ (Equação 15)}$$

$$\$ = -0,17 * 1,76$$

$$\$ = -0,2992$$

A.5 Cálculo do valor total do resíduo corrigido (\$_{Total})

$$\$_{Total} = W_{total} \times \$ \text{ (Equação 16)}$$

$$\$_{Total} = 63.778,8 * (-0,30)$$

$$\$_{Total} = - 19.082$$

B. Análise do resíduo por riscos

TABELA 3.6: PARÂMETROS DA ANÁLISE POR RISCOS

Classificação – IIA (resíduo não inerte)

Existem dados? sim

Danos à saúde? Isento

Reclamações? Isento

Penalizações? Isento

B.1 Cálculo do somatório dos pesos das perguntas da análise por riscos ($\sum Q_{jk}$)

Para as respostas “isento” o modelo atribui peso ZERO, portanto $\sum Q_{jk} = 0$.

OBS: A resposta “SIM” para a pergunta “Existem dados?” classifica o resíduo inicialmente como prioritário, entretanto para todos os resíduos analisados essa resposta foi afirmativa.

B.2 Cálculo do risco global do resíduo (R)

Periculosidade (\uparrow) = não inerte (2)

$$R = \sum Q_{jk} / \uparrow \text{ (Equação 17)}$$

$$R = 0 / 2$$

$$R = 0$$

C. Análise do resíduo por facilidade de minimização

TABELA 3.8: PARÂMETROS PARA ANÁLISE POR FACILIDADE DE MINIMIZAÇÃO

OBS: Para respostas afirmativas, os pesos são tabelados; caso contrário, são nulos.

Custo (CM_{jk}) - Muito baixo 1

Parar equipamento? 0

Parar processo? 0

Parar unidade? 0

Modificar equipamento? 0

Modificar processo? 0

Modificar unidade? 0
Implantar equipamento? 0
Implantar processo? 0
Implantar unidade? 0
Tecnologia Disponível? - 10,1
Mão de Obra Disponível? - 7,1
Recursos Disponíveis? - 15,1

C.1 Cálculo do somatório dos pesos das perguntas da análise por facilidade de minimização

$$\sum F_{jk} = 0 - 10,1 - 7,1 - 15,1$$

$$\sum F_{jk} = -32,3$$

C.2 Cálculo da facilidade de minimização global do resíduo (F)

Para $\sum F_{jk} < 0$,

$$F = \sum F_{jk} / CM_{jk} \text{ (Equação 19)}$$

$$F = -32,3 / 1$$

$$F = -32,3$$

ANEXO 04**Exemplo de cálculo para a análise global**

Resíduo: Lodo físico-químico da ETE (R28)

Resultado da análise de valor – 2

Resultado da análise de risco – 14

Resultado da análise de facilidade de minimização – 6

Pesos atribuídos

Peso da análise de valor – 3

Peso da análise de risco – 1

Peso da análise de facilidade de minimização – 2

Análise global = Resultado da análise de valor * Peso da análise de valor +
Resultado da análise de risco * Peso da análise de risco +
Resultado da análise de facilidade de minimização * Peso da
análise de facilidade de minimização / soma dos pesos

$$\text{Análise global} = \frac{2*3 + 14*1 + 6*2}{6}$$

$$\text{Análise global} = 5,33$$

ANEXO 05

**RESULTADOS DO LAUDO DE CLASSIFICAÇÃO
DO LODO FÍSICO-QUÍMICO DA ETE**

ANEXO 06



Espaço reservado para protocolo

DEPÓSITO DE PEDIDO DE PATENTE OU DE CERTIFICADO DE ADIÇÃO

Ao Instituto Nacional da Propriedade Industrial:

O requerente solicita a concessão de um privilégio na natureza e nas condições abaixo indicadas:

1. Depositante (71):

- 1.1 Nome: **Universidade Federal do Paraná**
- 1.2 CNPJ/CPF: **75095679000149**
- 1.3 Endereço completo: **Rua Dr. Faivre 405, 1º Andar - Centro - Curitiba/PR**
- 1.4 CEP: **80060140**
- 1.5 Telefone: **(41) 33605379** 1.6 Fax: **(41) 33605379**
- 1.7 E-mail: **npj@ufpr.br**

 continua em folha anexa

2. Natureza: Invenção Modelo de Utilidade Certificado de Adição

Escreva, obrigatoriamente, e por extenso, a Natureza desejada: **invenção**

3. Título da Invenção, Modelo de Utilidade ou Certificado de Adição (54):

MÉTODO DE UTILIZAÇÃO DE LODO DE ETE PARA FABRICAÇÃO DE NOVOS MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO CIVIL PROVENIENTE DE UMA EMPRESA PRODUTORA DE PAPÉIS DECORATIVOS E TINTAS

 continua em folha anexa

4. Pedido de Divisão: do pedido Nº: Data de Depósito: / /

5. Prioridade: interna unionista

O depositante reivindica a(s) seguinte(s) prioridade(s)

| País ou organização de origem | Número do depósito | Data do depósito |
|-------------------------------|--------------------|------------------|
| | | / / |
| | | / / |
| | | / / |

6. Inventor (72):

 Assinale aqui se o(s) mesmo(s) requer(em) a não divulgação de seu(s) nome(s)

- 6.1 Nome: **Vsevolod Mymrine**
- 6.2 Qualificação: **D.Sc., Ph.D.** 6.3 CPF: **828286360-20**
- 6.4 Endereço completo: **Rua Andre de Barros, 240, apto. 603, bloco B, Curitiba, PR, Brasil.**
- 6.5 CEP: **80010-080**
- 6.6 Telefone: **(41) 3232-2558** 6.7 Fax: ()
- 6.8 E-mail: **seva@ufpr.br**

 continua em folha anexa

ANEXO DE CONTINUAÇÃO – FORMULÁRIO 1.01

- 1. Depositante (71):**
1.1 Nome: Graciele Juliana Pereira Solyon
1.2 Qualificação: Mestranda
1.3 CPF: 029.521.709-08
1.4 Endereço completo: R. Frei Francisco Sampaio, 159 sob. 3, Jd. Das Américas, CEP: 81.530-380
Curitiba, PR, Brasil
1.5 Telefone: (41) 3082 0530
-

- 2. Depositante (71):**
1.2 Nome: Urivald Pawlowski
1.2 Qualificação: Ph.D.
1.3 CPF: 004934499-49
1.5 Endereço completo: Rua Fagundes Varela, 865, CEP: 82120-040, Curitiba, PR, Brasil
1.5 Telefone: (41)3262-8631
-

- 3. Depositante (71):**
1.3 Nome: Vsevolod Mymrine
1.2 Qualificação: D.Sc., Ph.D.
1.3 CPF: 828286360-20
1.6 Endereço completo: Rua André de Barros, 240, bloco B, apto. 603, Centro, CEP: 80010-080
Curitiba, PR, Brasil
1.5 Telefone: (41) 3232-2568
-