

**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
MESTRADO PROFISSIONALIZANTE EM ENGENHARIA**

**IMPLANTAÇÃO DE PROGRAMA DE PRODUÇÃO MAIS LIMPA  
E PREVENÇÃO À POLUIÇÃO EM ANÁLISE QUÍMICA**

**Dalva Inês de Souza**

**Porto Alegre, 2002**

**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
MESTRADO PROFISSIONALIZANTE EM ENGENHARIA**

**IMPLANTAÇÃO DE PROGRAMA DE PRODUÇÃO MAIS LIMPA  
E PREVENÇÃO À POLUIÇÃO EM ANÁLISE QUÍMICA**

**Dalva Inês de Souza**

**Orientador: Professora Dra. Andrea Moura Bernardes**

**Banca Examinadora:**

**Profa. Dra. Jane Zoppas Ferreira**

**Prof. Dr. Carlos Arthur Ferreira**

**Profa. Dra. Annelise Engel Gerbase**

**Trabalho de Conclusão do Curso de Mestrado Profissionalizante em Engenharia  
como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia – modalidade  
Profissionalizante – Ênfase: Engenharia Ambiental e Tecnologias Limpas**

**Porto Alegre, 2002**

**Este Trabalho de Conclusão foi analisado e julgado adequado para a obtenção do título de mestre em ENGENHARIA e aprovada em sua forma final pelo orientador e pelo coordenador do Mestrado Profissionalizante em Engenharia, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.**

---

**Profa. Dra. Andrea Moura Bernardes**

Orientador  
Escola de Engenharia  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

---

**Profa. Helena Beatriz Bettella Cybis**

Coordenadora  
Mestrado Profissionalizante em Engenharia  
Escola de Engenharia  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

BANCA EXAMINADORA

**Profa. Dra. Jane Zoppas Ferreira**  
PPGEM/UFRGS

**Prof. Dr. Carlos Arthur Ferreira**  
PPGEM/UFRGS

**Profa. Dra. Annelise Engel Gerbase**  
IQ/UFRGS

*O desenvolvimento de uma  
consciência crítica que permite ao  
homem transformar a realidade se  
faz cada vez mais urgente.*

*Paulo Freire*

## AGRADECIMENTOS

À minha orientadora Andrea Moura Bernardes, pelo incentivo e direcionamento.

Aos componentes da banca examinadora por terem aceitado o convite para avaliação e por suas valiosas sugestões.

Aos professores do mestrado que me mostraram uma visão mais global e ao mesmo tempo específica a respeito das questões ambientais.

Aos colegas do mestrado com os quais tive bastante troca de experiências.

À direção executiva Maria Inês Zulke, à professora Carmem Beltrame, ao professor Celestino Schneider e ao professor Décio Peixoto, da Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha, pelo incentivo e tolerância em trocas de horários que se fizeram necessários no dia a dia da escola em função de aulas e trabalhos do mestrado.

Aos colegas do curso Técnico de Química da Liberato que acolheram o espírito ambiental.

À auxiliar de ensino Cláudia Müller pela participação ativa, sugestões e pela força de vontade.

Em especial aos meus alunos das turmas 1311, 1312, 1323 de 2001, participantes deste projeto e aos meus alunos das turmas de terceiro ano de 2000, com os quais se iniciou a idéia da aplicação de um tipo de trabalho ambiental nas aulas.

Ao meu pai (*in memorium*) que sempre me incentivou a estudar e fazer as coisas da melhor maneira possível e a Gladis Mathilde Lenhard de Souza (*in memorium*) por ter me ensinado a lutar por meus ideais e a ‘pescar meu próprio peixe’.

Aos meus filhos Ricardo Luís Von Groll e Rafael Von Groll por terem suportado as minhas ausências e o uso prolongado do computador o que, muitas vezes, gerou atritos devido a falta de mãe.

Ao Luís Maccarini, grande companheiro, pela paciência, pelo apoio e incentivo ao meu desenvolvimento, pelo carinho e ajuda indispensáveis, por suas palavras de estímulo e por ser esta pessoa querida.

## SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS .....	8
LISTA DE FIGURAS.....	11
LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS .....	13
RESUMO.....	14
ABSTRACT.....	15
INTRODUÇÃO .....	16
1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	23
1.1 Constituição Federal, Legislação Estadual e o Meio Ambiente .....	23
1.1.1 A Constituição Federal .....	23
1.1.2 Legislação Estadual do Rio Grande do Sul .....	25
1.2 Educação Ambiental, Parâmetros Curriculares (PCNs) e outras considerações .....	27
1.3 Produção mais limpa.....	29
1.4 Prevenção à poluição (P2), minimização de resíduos e reciclagem .....	37
1.5 Minimização de resíduos, prevenção à poluição em Instituições Educacionais, Boas Práticas de Laboratório .....	42
1.6 Implicações de assuntos ambientais e de segurança química no ensino da química .....	50
2 METODOLOGIA .....	53
2.1 Local de realização e caracterização da população alvo.....	53
2.2 Plano de trabalho .....	54
2.3 Comprometimento do Professor .....	56
2.4 Equipe de trabalho .....	56
2.5 Metas.....	57
2.6 Identificação de oportunidades para aplicação e para a escolha das medidas a serem tomadas .....	58
2.7 Determinação das variáveis (indicadores de desempenho) .....	58
2.8 Disseminação dos conteúdos específicos relativos a Programa de Produção mais Limpa .....	

e Prevenção à Poluição .....	59
2.9 Medidas escolhidas e implantadas para Produção mais Limpa e Prevenção à Poluição em Análise Química.....	60
2.10 Levantamento de dados sobre reagentes, insumos e resíduos das aulas.....	65
2.11 Levantamento dos resultados analíticos das determinações monitoradas .....	70
2.12 Levantamento de dados através de aspectos qualitativos .....	70
2.13 Modificações das técnicas analíticas .....	71
2.13.1 Determinação de ferro por gravimetria.....	72
2.13.2 Determinação de níquel por gravimetria .....	73
2.13.3 Determinação de cloretos através do Método de Mohr .....	74
2.13.4 Determinação de cloretos por método argentimétrico de adsorção.....	79
2.13.5 Determinação de magnésio por complexometria de EDTA .....	80
2.13.6. Determinação de ferro por permanganimetria .....	81
2.13.7 Determinação de vitamina C (ácido ascórbico) por volumetria do iodo .....	83
2.13.8 Determinação de ferro por dicromatometria.....	85
2.13.9 Determinação de cromo III de forma indireta ( por titulação de retorno) através da dicromatometria .....	87
2.14 Avaliação dos resultados .....	89
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	92
3.1 Resultados da avaliação qualitativa dos alunos em relação à conscientização e à postura frente ao meio ambiente.....	92
3.2 Resultados referentes a quantidade de insumos e reagentes gastos e resíduos gerados no ano letivo.....	104
3.3 A água deionizada residuária reciclada .....	111
3.4 Resultados analíticos das determinações monitoradas .....	112
4 CONCLUSÃO .....	123
5 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	126
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	128
ANEXOS .....	136
ANEXO 1 – Dados das Turmas de Terceiros Anos do Curso Técnico em Químico .....	137
ANEXO 2 – Roteiro para Trabalho sobre Resíduos das Aulas Práticas de Análise .....	139
ANEXO 3 – Relatório das Aulas Práticas .....	141
ANEXO 4 – Rótulo de Identificação de Resíduos/Sobras de Aulas Práticas.....	143
ANEXO 5 – Relatório de Levantamento de Dados sobre Quantidades de Reagentes, Insumose Resíduos das Aulas Práticas .....	145
ANEXO 6 – Planilha de Resultados de Aulas Práticas .....	147

## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1. Plano geral de experimento sobre aplicação de PML e P2 em Análise Química na Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha em 2001 .....55
- Tabela 2. Equipe para implantação do programa de PML e P2 em Análise Química na Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha -2001 .....57
- Tabela 3. Comparação da técnica de determinação de ferro, por gravimetria precipitação química e calcinação, método tradicional em uso e método modificado em Análise Química na Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha – 2001..... 72
- Tabela 4. Comparação da determinação de níquel por precipitação com dimetilgloxima em meio de hidróxido de amônio, método tradicional em uso e método modificado em Análise Química na Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha - 2001 ..... 73
- Tabela 5. Comparação entre o método tradicional e o método modificado de determinação de cloretos pelo método de Mohr em Análise Química na Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha – 2001 ..... 78
- Tabela 6. Quadro comparativo da determinação de cloretos pelo método de adsorção tradicional usado e o método modificado em Análise Química na Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha – 2001 ..... 79
- Tabela 7. Quadro comparativo da determinação de magnésio por complexometria com EDTA pelo método tradicional usado e o método modificado em Análise Química na Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha – 2001 ..... 81
- Tabela 8. Quadro comparativo da determinação de ferro por permanganometria pelo método tradicional usado e pelo método modificado em Análise Química na Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha – 2001.....82
- Tabela 9. Quadro comparativo da determinação de ácido ascórbico por iodometria pelo



método tradicional usado e pelo método modificado em Análise Química na Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha – 2001 .....	84
Tabela 10. Quadro comparativo da determinação de ferro por dicromatometria pelo método tradicional usado e o método modificado em Análise Química na Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha – 2001 .....	86
Tabela 11. Quadro comparativo da determinação de cromo III por dicromatometria pelo método tradicional usado e o método modificado em Análise Química na Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha – 2001 .....	88
Tabela 12. Nível de escolaridade da mãe dos alunos envolvidos na implantação de programa de produção mais limpa e prevenção à poluição em análise química na Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha- 2001 .....	94
Tabela 13. Nível de escolaridade do pai dos alunos envolvidos na implantação de programa de produção mais limpa e prevenção à poluição em análise química na Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha- 2001 .....	94
Tabela 14. Região onde residem os alunos participantes da implantação de programa de produção mais limpa e prevenção à poluição em análise química na Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha – 2001 .....	96
Tabela 15. Participação de cursos, palestras, seminários relativos a temas ambientais pelos alunos das turmas envolvidas na implantação do programa de produção mais limpa e prevenção à poluição em Análise Química para as turmas envolvidas na Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha - 2001 .....	98
Tabela 16. Observação de fato relacionado com produção mais limpa e prevenção à poluição em visitas técnicas pelos alunos envolvidos na implantação do programa de produção mais limpa e prevenção à poluição em Análise Química para as turmas envolvidas na Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha - 2001 .....	99
Tabela 17. O que os alunos envolvidos na implantação do programa de produção mais limpa e prevenção à poluição em Análise Química para as turmas envolvidas na Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha – 2001 - pensam a respeito de resíduos de laboratório .....	101
Tabela 18. Quantidade de insumos gastos e resíduos para ETE em 1 ano letivo no programa de produção mais limpa e prevenção à poluição em análise química na Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha – 2001 .....	104
Tabela 19. Custo dos insumos usados em Análise Química na implantação de PML e P2 em Análise Química na Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha em 2001. ....	109
Tabela 20. Custo total dos reagentes usados em Análise Química na implantação de PML e	

P2 por 1 turma de 23 alunos em Análise Química na Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha em 2001.....	110
Tabela 21. Custo médio dos reagentes e insumos usados por uma turma em Análise Química na implantação de PML e P2 por 1 turma de 23 alunos em Análise Química na Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha em 2001 .....	110
Tabela 22. Resultados analíticos da reciclagem da água deionizada residuária da lavagem do material .....	111
Tabela 23. Descrição estatística da determinação de ferro por gravimetria de precipitação .....	112
Tabela 24. Descrição estatística da determinação de níquel por gravimetria de precipitação.....	113
Tabela 25. Descrição estatística da determinação de cloretos por método de Mohr .....	113
Tabela 26. Descrição estatística dos dados da determinação de cloretos por adsorção.....	114
Tabela 27. Descrição estatística dos dados da determinação de magnésio .....	114
Tabela 28. Descrição estatística de dados da determinação de ferro por permanganimetria.....	115
Tabela 29. Descrição estatística dos dados da determinação de ácido ascórbico.....	116
Tabela 30. Descrição estatística dos dados da determinação de ferro por dicromatometria .....	117
Tabela 31. Coeficiente de variação (%) das determinações realizadas pelas turmas .....	118
Tabela 32. Comparação de F calculado e F tabelado com 5% de probabilidade nas determinações das turmas A, B e C .....	119
Tabela 33. Comparação t calculado e t tabelado (t crítico bi-caudal).....	121

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Partes de um processo de produção.....	35
Figura 2: Laboratório de Análise Química do 3º ano do curso técnico em química da Fundação escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha.....	54
Figura 3: Aluno fazendo verificação de vazamento de gás na tubulação.....	62
Figura 4: Bomba d'água para transferência da água residuária da lavagem da vidraria para o deionizador.....	64
Figura 5: Separação dos resíduos gerados na própria bancada.....	66
Figura 6: Disposição dos resíduos de toda a turma em frascos e baldes identificados.....	66
Figura 7: Estação de tratamento de efluentes da Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha .....	67
Figura8: Alunos nas pias medindo a água residuária da lavagem da vidraria.....	68
Figura 9: Alunos fazendo a medição da água deionizada.....	69
Figura 10: Diagrama de determinação de cloretos pelo método de Mohr tradicional usado em Análise Química na Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha – 2001 .....	75
Figura 11: Diagrama de determinação de cloretos pelo método de Mohr modificado em Análise Química na Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha - 2001 .	76
Figura 12: Diagrama da reciclagem de $Ag NO_3$ a partir do precipitado da determinação de cloretos por Método de Mohr método modificado em Análise Química na Fundação Escola	

Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha - 2001 ..... 77

Figura 13: Percentagem de alunos do sexo feminino e masculino nas turmas A, B e C participantes da implantação de programa de produção mais limpa e prevenção à poluição em análise química na Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha- 200193

Figura 14: Idade dos alunos nas turmas A, B e C participantes da implantação de programa de produção mais limpa e prevenção à poluição em análise química na Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha- 2001 ..... 93

Figura 15: Tipo de escola onde os alunos participantes da implantação de programa de produção mais limpa e prevenção à poluição em análise química na Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha- 2001 estudaram antes do ensino técnico de nível médio. .... 95

Figura 16: Deslocamento dos alunos participantes da implantação de programa de produção mais limpa e prevenção à poluição em Análise Química na Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha para a escola – 2001 ..... 96

Figura 17: Significado da implantação do programa de produção mais limpa e prevenção à poluição em Análise Química para as turmas envolvidas na Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha – 2001 ..... 97

Figura 18: Gráfico da quantidade de insumos (Kg/ano) gastos pelas turmas envolvidas em PML e P2 em Análise Química na Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha – 2001 ..... 106

Figura 19: Gráfico sobre responsabilidade dos gastos com insumos durante 1 ano letivo pelas turmas envolvidas no programa de produção mais limpa e prevenção à poluição em análise química, na Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha – 2001 106

Figura 20: Percentual de economia das turmas A e B na utilização de insumos em relação a turma C, durante 1 ano letivo, no programa de produção mais limpa e prevenção à poluição em análise química, na Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha – 2001 ..... 107

Figura 21: Responsabilidade das turmas envolvidas em PML e P2 sobre o volume de resíduos gerados e destinados à ETE em 1 ano letivo em Análise Química na Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha – 2001 ..... 108

Figura 22: Redução de resíduos gerados e destinados a ETE em 1 ano letivo em Análise Química na Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha – 2001 ..... 108

## LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

<b>ABNT</b>	Associação Brasileira de Normas Técnicas
<b>ACS</b>	<i>American Chemical Society</i>
<b>CETESB</b>	Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental
<b>EPA</b>	<i>Environmental Protection Agency</i>
<b>EPIs</b>	Equipamentos de Proteção Individual
<b>ETE</b>	Estação de Tratamento de Efluentes
<b>EAN</b>	<i>European Union</i>
<b>IPPC</b>	<i>Integrated Pollution Prevention And Control</i>
<b>ISO</b>	<i>International Standard Organization</i>
<b>MSDS</b>	<i>Material Safety Data Sheet</i>
<b>ONGs</b>	<i>Organizações Não Governamentais</i>
<b>PCNS</b>	Planos Curriculares Nacionais
<b>P2</b>	Prevenção à Poluição
<b>PML</b>	Produção Mais Limpa
<b>PNUMA</b>	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
<b>PUC/RS</b>	Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul
<b>SGA</b>	Sistema de Gestão Ambiental
<b>UFRGS</b>	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
<b>UNEP</b>	<i>United Nations Environment Program</i>
<b>UNICAMP</b>	Universidade de Campinas
<b>WBCSD</b>	<i>World Business Council For Sustainable Development</i>

## RESUMO

Este trabalho tem como objetivo geral implantar um programa de produção mais limpa e prevenção à poluição na disciplina de análise química do curso técnico de química de escola de nível médio. O foco do estudo foi análise química quantitativa por métodos clássicos de volumetria e gravimetria, desenvolvido com 3 turmas de alunos. Para isto, a literatura foi revisada, buscando-se os conceitos de Produção mais Limpa (PML), *good housekeeping*, Prevenção à Poluição (P2), Planos Curriculares Nacionais (PCNs), Constituição Federal e Estadual e implicações de assuntos ambientais e de segurança no ensino da química. A seguir efetuou-se um plano de trabalho e realizou-se a implementação de medidas. Foram estabelecidas como medidas a minimização de reagentes, insumos e resíduos, a reutilização e reciclagem dos mesmos e a conscientização dos alunos sobre sua responsabilidade ambiental em 2 turmas de alunos, mantendo-se a outra como turma controle. Para avaliação de resultados foram usados indicadores quantitativos e qualitativos como quantidades de reagentes, insumos (água potável, detergente e papel toalha) e resíduos, análise estatística dos resultados analíticos através teste Q, teste F, teste de *t student* e coeficiente de variação, análise de custos e postura dos estudantes frente a assuntos ambientais medidos através de suas atitudes. Os resultados mostraram que houve redução de 50% de reagentes, 55% de insumos, 50% de compostos químicos nos resíduos destinados para a estação de tratamento de efluentes em um volume 31% menor, superando as expectativas. Não houve diferença significativa nos resultados analíticos encontrados. A postura dos estudantes mostrou o nível de conscientização esperado. Verificou-se que, com as devidas adaptações, é possível aplicar um programa de produção mais limpa e prevenção à poluição em análise química e também em outras disciplinas.

## ABSTRACT

The general purpose of this work is to establish cleaner production and pollution prevention programs in the classes of Analytical Chemistry of the Chemistry course of a technical high school. The focus of the research was Quantitative Analytical Chemistry by means of classical gravimetric and titration methods, performed with three classes. The bibliographical research took into account concepts of cleaner production, good housekeeping, pollution prevention, Brazilian high school curriculum, Brazilian Federal and Rio Grande do Sul State Constitutions, as well as, matters of environmental consequences and safety in the teaching of Chemistry. In the sequence, with two of the classes, it was set up a work plan and carried out a series of laboratory measurements, such as minimisation, reuse and recycling of inputs, and waste. The third class was kept as a reference one. In order to evaluate the results, quantitative and qualitative marks were used, as amount of inputs and waste. A statistical approach with coefficients of variation, Q, F and t Student tests, as well as, cost analysis and an evaluation of the commitment of the students to environmental matters were also observed. The results have shown an average reduction of 50% in inputs, 50% in chemicals in the waste. There were no significant differences among the analytical results found. The attitude of the students has shown the expected level of environmental awareness. It was realised that, with proper adjustments, it is possible to implement a program of cleaner production and pollution prevention in chemical analysis, as well as in other subjects.

## INTRODUÇÃO

Uma nova consciência ambiental e educacional tem se desenvolvido com relação a resíduos químicos, reagentes tóxicos e conservação de recursos utilizados em empresas e instituições.

A Conferência de especialistas em ciências sobre Biosfera, realizada em Paris, em 1968, despertou uma consciência ecológica mundial. Mais tarde, a Conferência sobre o Meio Ambiente, realizada em Estocolmo em 1972, uniu pela primeira vez representantes de governos com o objetivo de discutir a necessidade de tomar medidas efetivas de controle dos fatores que causam degradação ambiental. Incluiu-se aí o pensamento de Gandhi “a pobreza é a maior poluição do mundo”. [1]

A Conferência sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, realizada no Rio de Janeiro em 1992, a Rio 92, reuniu 189 países. Daí surgiu a Carta da Terra, mais tarde denominada Declaração do Rio. Neste encontro o objetivo básico foi estabelecer acordos internacionais que respeitassem os interesses de todos e protegessem a integridade do sistema global de ecologia. Assim surgiu a Agenda 21, um documento que estabelece um plano de ação para cumprir o que ficou estabelecido na Declaração do Rio. [1]

A Agenda 21 aborda o problema ambiental sob enfoque das dimensões econômicas e sociais - cooperação internacional, combate à pobreza, mudança nos padrões de consumo, dinâmica populacional, proteção à saúde, promoção de assentamentos humanos sustentáveis, desenvolvimento sustentável - conservação e gerenciamento de recursos – proteção dos recursos naturais: ar, água, solo, biodiversidade e gestão ecológica dos resíduos -



fortalecimento do papel dos principais grupos sociais e meios de implementação das decisões - mulheres, crianças, povos nativos, ONGs, trabalhadores, comunidade científica, agricultores. Parte da premissa básica: Agir Local, pensar Global. [2]

Os países desenvolvidos e as grandes empresas já atuam na área ambiental, pois tem uma crescente preocupação com a qualidade de vida, o que também está iniciando no Brasil. As autoridades e empresas estão enfrentando uma crescente pressão interna e externa. Um fator que pode medir a qualidade de uma empresa ou entidade é o fato de estar ligada a uma filosofia embasada em um modelo de gestão ambiental.

As Normas ISO 14000 são um referencial importante que podem levar à certificação de Sistema de Gestão Ambiental (SGA) de empresas. A certificação ISO 14000 é uma motivação para as empresas e instituições porque pode ser usada como *marketing*, criando uma “imagem” de seu produto com possibilidade de maior aceitação no mercado. A certificação indica um certo nível de confiança e responsabilidade ambiental. Pode também significar menos restrições para licenciamentos ambientais, facilidades para exportação, maior competitividade e, também para obter empréstimos de organismos internacionais. [3]

Qualquer empresa que pretenda realizar negócios com a Ásia, América do Norte, ou algum país da União Européia terá que cumprir com determinadas legislações ambientais do país envolvido, além das Leis brasileiras. Necessitam manter a competitividade, minimizar os impactos ambientais e preservar a saúde da população.

A produção mais limpa, a prevenção à poluição, o bom gerenciamento empresarial (*good housekeeping*), a otimização de processos, a substituição de matérias primas, o uso de tecnologias limpas e novos *designs*, *eco-designs*, têm sido empregados para atingir tais desafios.

A base de qualquer programa relativo a questão de segurança ambiental é a conscientização incentivada através da educação. [4]

De outra parte, o contexto produção, consumo e cidadania estão intimamente relacionados. De acordo com Gutberlet [5], devido ao crescimento do consumo mundial a produção e o consumo limpo serão questões primordiais nas próximas décadas, para poder assegurar nossa qualidade de vida. Certamente não é apenas o produtor que deve contribuir

com a construção de uma sociedade sustentável, mas também o consumidor, pois é ele próprio que tem o poder sobre o que vai consumir. A conscientização ambiental tem um papel fundamental na realização desta meta porque promove a cidadania e é ela que finalmente pode levar os cidadãos a adotar estilos de vida com maior grau de harmonia entre o meio ambiente e a sociedade. Cada um deve se conscientizar da sua responsabilidade.

A visão destes e outros contextos acabou por gerar aqui um trabalho envolvendo produção mais limpa (PML) e prevenção à poluição (P2) com uso de boas práticas empresariais (*good housekeeping*) em laboratório químico escolar de ensino técnico de nível médio.

Na Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha, Novo Hamburgo/RS, os alunos do curso técnico de química, nível médio, na disciplina de Análise Química, trabalham com substâncias que contêm metais pesados, cianetos, água, ácidos e bases, etc, necessários para aprendizagem. Os ensaios geram resíduos, emissões gasosas e águas residuárias com substâncias nocivas ao homem e ao meio ambiente. Estes resíduos ou são devidamente acondicionados ou vão para uma ETE (estação de tratamento de efluentes) e, através de processos físico-químico, de tratamento são transformados em substâncias sólidas, acondicionadas adequadamente, sem nenhum uso, resultando apenas em custos.

A disciplina de Análise Química tem um programa voltado para a análise qualitativa de cátions, via semi-micro análises, e análise quantitativa através de processos clássicos de volumetria e gravimetria. Visa a qualidade de procedimentos, introdução de exatidão e precisão nos resultados, sem maior ênfase em implicações ambientais. Os alunos ainda não têm um nível de consciência adequado sobre o fato de que estão gerando resíduos e que estes podem ser eliminados, reduzidos, reutilizados, reciclados e não somente dispostos de maneira correta.

Além disto, o corpo docente do Curso Técnico de Química da Liberato está se adequando a um novo plano de curso, a fim de atender os requisitos do Ministério de Educação com relação aos Planos Curriculares Nacionais (PCNs). Segundo este novo plano, na Liberato, o Técnico em Química deve ter um perfil generalista, fundamentado nos princípios da qualidade, da segurança e do meio ambiente, para atender às demandas de uma sociedade caracterizada por constantes transformações e por um mercado cada vez mais competitivo.

Partindo-se do exposto, foi gerado o **problema da pesquisa**: é possível im-

plantar um projeto de produção mais limpa e prevenção à poluição com um bom gerenciamento do laboratório, eliminando, minimizando, reciclando resíduos, insumos, água, na disciplina de análise química, diminuindo custos a curto prazo, sem comprometer os resultados esperados nas análises? Pode o aluno adquirir uma maior consciência ambiental, demonstrada pelas suas atitudes?

A preservação do meio ambiente é hoje uma das prioridades nas empresas e instituições, pois existem leis e regulamentações específicas, normatizadas pelos órgãos competentes. Este fato, por si próprio, já é uma **justificativa** para a execução desta pesquisa. Além disto, o Desenvolvimento Sustentável prega o atendimento das necessidades do presente sem comprometer as habilidades das futuras gerações de atender as suas próprias necessidades. Outro ponto é que a Agenda 21 deixa claro que o controle efetivo da geração, armazenamento, reciclagem, reutilização, transporte, recuperação e disposição dos resíduos perigosos é de extrema importância para a saúde do homem, proteção do meio ambiente, manejo dos recursos naturais e o desenvolvimento sustentável. Na área de prevenção e de redução ao mínimo de resíduos perigosos a Agenda 21 tem como objetivo uma abordagem geral integrada de tecnologias limpas, bem como a otimização e o uso de materiais perigosos e dos resíduos provenientes dos processos que os envolvem. [2]

Com relação aos cientistas e técnicos a Agenda 21 referenda que estes têm um conjunto de responsabilidades que lhes cabe como herdeiros de uma tradição e como profissionais membros de disciplinas dedicadas ao conhecimento e à necessidade de proteger a biosfera no contexto do desenvolvimento sustentável.

O capítulo 36 da Agenda 21, que fala sobre a promoção do ensino, da conscientização e do treinamento, especifica que deve haver uma reorientação do ensino no sentido do desenvolvimento sustentável. Deve ser empreendida uma revisão exaustiva dos currículos para assegurar uma abordagem multidisciplinar, que abarque as questões do meio ambiente, do desenvolvimento e seus aspectos e vínculos sócio-culturais e demográficos. [2]

Um fator relevante que pode ser um diferencial de qualidade ambiental e que pode tornar uma empresa competitiva é o “selo ambiental”. Os selos ambientais surgiram inicialmente na década de 70, como advertência a produtos que continham substâncias tóxicas controladas. Surgiram, a partir daí, os produtos verdes e a exigência de normalização e padronização internacional pela ISO. No Brasil os estudos vem sendo efetuados pela

ABNT com o Ministério do Meio Ambiente através de um termo de Cooperação Técnica, visando a implantação do Programa Brasileiro de Rotulagem Ambiental. Este tem como objetivos o estabelecimento de logotipos, critérios baseados na análise do ciclo de vida, o estímulo do mercado a práticas competitivas que incluam o diferencial ecológico, o estímulo às empresas a adotarem o conceito de ciclo de vida do produto e a orientação do consumidor na identificação de produtos eco-eficientes [6]. Países Europeus como Suíça, Alemanha e Inglaterra já tem 50% de consumidores verdes. Produtos “verdes” melhoram a imagem das empresas e são estratégia de marketing. O técnico em química pode utilizar os conceitos de produção mais limpa, prevenção à poluição e boas práticas empresariais para auxiliar uma empresa a alcançar eco-eficiência e/ou fabricar produtos com selo verde, além de utilizar estes conceitos para a sua vida pessoal.

A escola que trata o problema ambiental com seriedade e competência, protegendo o ambiente e o cidadão, que implanta educação ambiental e que usa boas práticas em laboratórios é referência no ensino. A implantação de ações desta natureza na escola também mostra aos alunos sua responsabilidade sobre substâncias tóxicas usadas e produzidas, sobre segurança do ser humano e proteção do meio ambiente.

A escola também produz resíduos e contribui para a poluição ambiental. Ela deve se reconhecer como uma unidade impactante e sua rotina deve ser trabalhada para a redução de tais impactos, caso contrário será apenas mantenedora e reprodutora de uma cultura predatória ao meio ambiente. Ela gera lixo, esgoto, consome energia, água, etc. A escola, entidade educadora, tem um compromisso com a sociedade como um todo e, por isto, deve ser um agente de mudança. Além de agente de mudança ela deve ser objeto de mudança. Ela tanto faz parte do problema como da solução dele. [7 ]

Para responder ao problema deste estudo partiu-se de três **hipóteses**. A primeira delas é que se os reagentes e insumos fossem reduzidos à metade, teríamos uma minimização de 50% na quantidade de resíduos com redução de custos durante um ano letivo em análise quantitativa clássica, na disciplina de Análise Química, através do uso de boas práticas de gerenciamento empresarial, técnicas de prevenção à poluição e uma produção mais limpa, sem comprometer os resultados quantitativos esperados nas análises usualmente realizadas.

Uma segunda hipótese também formulada foi que se a água deionizada das lava-

gens de vidrarias fosse reciclada através de resina trocadora de íons, apresentaria características de pH e condutividade adequados à reutilização nas próprias aulas.

Uma última hipótese é que após a realização deste trabalho com os alunos, estes teriam uma maior consciência ambiental, medida qualitativamente, pelas suas atitudes diárias, observadas na escola.

Usando a premissa da Agenda 21: agir local, pensar global, este projeto teve por **objetivo geral** implantar um programa de produção mais limpa (PML) e prevenção à poluição (P2), com boas práticas de gerenciamento empresarial de laboratório, sem alterar significativamente a precisão dos resultados analíticos.

Em um nível global e em prazo maior, pretendia-se que estes alunos, quando atuassem futuramente nas empresas como estagiários ou técnicos em pesquisas, controle de qualidade ou atividades correlatas à sua profissão, fossem capazes de introduzir e utilizar os conceitos trabalhados.

Dentro dos **objetivos específicos** buscou-se conscientizar os alunos sobre a importância de se trabalhar adequadamente para a qualidade de resultados, executar as análises com segurança pessoal e proteção do meio ambiente, procurando eliminar, reduzir, substituir reagentes tóxicos e insumos, bem como minimizar, reutilizar e reciclar resíduos, além de diminuir custos a curto prazo, em nível local, no laboratório de Análise Química.

Este trabalho poderá servir como um estudo piloto, a fim de motivar outros professores e alunos da Escola a realizarem estudos relativos a aspectos ambientais de suas disciplinas, com a aplicação das metodologias aqui tratadas.

Para testar as hipóteses e atingir os objetivos, na **metodologia**, realizou-se uma implementação de medidas de PML (produção mais limpa) e P2 (prevenção à poluição), usadas em empresas e adaptadas à realidade escolar. De maneira sintética este trabalho envolve uma parte teórica, e uma parte prática.

A parte teórica aborda questões relativas ao Meio Ambiente, como as Constituições Federal e Estadual, a educação ambiental, os PCNs (Parâmetros Curriculares Nacionais), conceitos e programas de Produção Mais Limpa e Prevenção à Poluição, implicações de assuntos ambientais e de segurança química no ensino da química.

A parte prática, trabalhada com 3 turmas de alunos de escola técnica de nível médio, trata especificamente da implantação do programa de produção mais limpa e prevenção à poluição. Esta parte de aplicação prática desenvolveu-se em duas etapas, o plano de trabalho e a implementação.

Os **resultados** foram avaliados de maneira qualitativa e quantitativa, sempre se comparando os resultados de cada turma com uma turma controle, conforme se descreve no decorrer desta pesquisa.

## **1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **1.1 CONSTITUIÇÃO FEDERAL, LEGISLAÇÃO ESTADUAL E O MEIO AMBIENTE**

A Constituição Federal do Brasil e a Legislação Estadual prevêm leis específicas que visam a proteção do meio ambiente e que são fundamentais para a melhoria da qualidade de vida. A seguir apresenta-se uma abordagem sobre os aspectos relacionados ao tema.

#### **1.1.1 A Constituição Federal**

As constantes mudanças das relações entre as diferentes esferas do governo, organismos internacionais e pressões da população têm determinado uma nova postura governamental quanto ao meio ambiente.

Temas que há pouco tempo atrás eram relegados a um segundo plano, agora assumem importância muito grande. Enquanto as constituições anteriores eram omissas em relação ao meio ambiente, a Constituição promulgada em 05/10/88 aborda amplamente a matéria, dedicando, inclusive, todo um capítulo à proteção ambiental, além de promover uma acentuada descentralização no que diz respeito a competências para legislar e adotar ações administrativas com vistas à proteção do meio ambiente. A matéria é abordada, especificamente, nos artigos 23 e 225, onde está indicado que o poder público e a coletividade tem o dever de preservar e defender o meio ambiente para as futuras gerações para que

todos os seres tenham um ambiente ecologicamente equilibrado, o que é essencial para uma qualidade de vida sadia. O artigo 23, inciso VI, diz que é de competência da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios proteger o meio ambiente e combater a poluição em qualquer de suas formas. [8, 9]

Estes artigos da Constituição estão regulamentados pela Lei 6938/81 (com as alterações da Lei n.º 7804 de 16 de julho de 1989), Lei da Política Nacional do Meio Ambiente, e também pela Lei 9605/98 (Lei de crimes ambientais) e Decreto 3179/99, Sanções aplicáveis às condutas e atividades lesivas ao meio ambiente. [10]

A Política Nacional do Meio Ambiente tem por objetivo a preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental propícia à vida, visando assegurar ao País condições de desenvolvimento sócio-econômico, o respeito aos interesses da Segurança Nacional e a proteção da dignidade da vida humana.

A Lei 6938/81, que estabelece a Política Nacional do Meio Ambiente, no artigo 2º, retrata que deverá haver racionalização do uso do solo, do subsolo, da água e do ar (inciso II), incentivos ao estudo e à pesquisa de tecnologias orientadas para o uso racional e a proteção dos recursos ambientais (inciso VI), educação ambiental a todos os níveis, inclusive à comunidade, objetivando capacitá-la para participação ativa na defesa do meio ambiente (inciso X). Já, no seu artigo 4º, a referida Lei diz que a Política Nacional do Meio Ambiente visará o estabelecimento de critérios e padrões da qualidade ambiental e de normas relativas ao uso e manejo de recursos ambientais (inciso III), ao desenvolvimento de pesquisas e de tecnologias nacionais orientadas para o uso racional de recursos ambientais (inciso IV), à difusão de tecnologias de manejo do meio ambiente, à divulgação de dados e informações ambientais e à formação de uma consciência pública sobre a necessidade de preservação da qualidade ambiental e ecológica (inciso V), a imposição obrigatória, ao poluidor e depredador, de reparar e /ou indenizar os danos causados e, ao usuário, a contribuição pelo uso dos recursos com fins econômicos (inciso VII). [10]

A Lei Federal que regulamenta o inciso VII é a Lei 9605, de fevereiro de 1998, a qual delibera que as pessoas jurídicas serão responsabilizadas administrativamente, cível, e penalmente com relação a algum crime ambiental. A responsabilidade das pessoas jurídicas não exclui a das pessoas físicas, autoras, co-autoras, ou partícipes do mesmo fato. [10]

O artigo 225 da Constituição Federal também referencia a questão lesiva ao meio



ambiente e, no inciso VII § 3º diz que “as condutas e atividades consideradas lesivas ao meio ambiente sujeitarão os infratores, pessoas físicas ou jurídicas, a sanções penais e administrativas, independentemente da obrigação de reparar os danos causados”. Isto é amparado pelo decreto Federal 3179/99 (sanções aplicáveis às condutas e atividades lesivas ao meio ambiente). No inciso VI, promove a educação ambiental em todos os níveis de ensino e a conscientização pública para a preservação do meio ambiental, amparado na Lei 9795/99, que trata da educação ambiental. [8, 9]

### **1.1.2 Legislação Estadual do Rio Grande do Sul**

A Constituição Federal, no seu artigo 30, inciso I, define que é de competência exclusiva dos municípios legislar sobre assuntos de interesse local. [8, 9]

Esta divisão de competências procura evitar a existência de conflitos na aplicação da Norma Ambiental, pois cada ente da Federação tem, em princípio, seu campo de ação definido. Em qualquer momento prevalece a garantia do direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado.

Para que as ações públicas municipais em âmbito do meio ambiente sejam eficazes o Estado elabora Legislação com diretrizes, sempre observando a Legislação Federal.

O primeiro passo no Rio Grande do Sul foi a criação da Lei Estadual 9493/92, que considera a coleta seletiva e a reciclagem do lixo como atividades ecológicas de relevância social e interesse público. A segregação dos resíduos sólidos na origem, visando seu reaproveitamento otimizado mediante programas educacionais e projetos de sistema de coleta segregativa é um dos artigos alencados na Lei Estadual 9921/93. Esta dispõe sobre os resíduos sólidos, que para efeito da Lei são provenientes de atividades industriais, urbanas, comerciais, de serviço de saúde, rurais, prestação de serviços e de extração de minerais. [10]

A Lei 9921/93 regulamenta o decreto estadual 38353/98 onde, no anexo único, está indicado que a gestão dos resíduos sólidos é responsabilidade de toda a sociedade e deverá ter como meta prioritária a sua não geração, devendo o sistema de gerenciamento destes resíduos buscar a sua minimização, reutilização, reciclagem, tratamento ou destino ade-

quados. [10]

O Sistema Estadual de Proteção Ambiental regulamentado pela Lei 10330 de 27/12/94 tem como atribuição o planejamento, implantação, execução e controle da política Ambiental do Estado, o monitoramento e a fiscalização do meio ambiente, visando preservar o seu equilíbrio e os atributos essenciais a sadia qualidade de vida, bem como promover o desenvolvimento sustentável. [10]

Porém, um instrumento normativo mais moderno é o criado em 3 de agosto de 2000, a Lei 11520/2000 que institui o Código Estadual do Meio Ambiente [11]. O Código alenca em seus 246 artigos uma série de assuntos de grande relevância. Sistematiza em uma única lei temas como a proteção da flora, da fauna, do solo, do ar, licenciamento ambiental, penalidades por infração ambientais e outros assuntos. Com relação à gestão dos recursos naturais e qualidade ambiental, que trata da água e do saneamento, considera a água um bem natural indispensável, tendo em vista seu uso racional e sustentável (Título IV, capítulo I, artigo 120). Segundo o Código, cabe ao Sistema Estadual de Recursos Hídricos, o gerenciamento das águas, com orientação e educação dos usuários acerca do uso racional e sustentável e do gerenciamento de recursos hídricos (No artigo 121, inciso VI). Estabelece que não poderá haver nenhum descarte de resíduo que possa conferir ao corpo receptor características com efeitos letais ou alteração de comportamento, reprodução ou fisiologia da vida (artigo 129).

Em relação aos resíduos o Código determina que compete ao gerador a responsabilidade pelos resíduos produzidos, compreendendo as etapas de coleta, acondicionamento, tratamento e destino final (Título IV, capítulo XII, artigo 218). No parágrafo 1º especifica que a terceirização destes serviços não isenta a responsabilidade do gerador pelos danos que vierem a ser provocados. A sua responsabilidade só cessará após transformação do resíduo por terceiro, licenciado pelo órgão ambiental, que o descaracterizem como tal.

Em relação aos instrumentos da política estadual do meio ambiente, infrações e penalidades, estabelece que toda a ação ou omissão que importe na inobservância da Lei 11520/2000, de seus regulamentos e demais legislações ambientais constitui infração administrativa (Título III, capítulo XIII, artigo 99). O artigo 100 reforça este preceito quando determina que aquele que direta ou indiretamente causar dano ao meio ambiente será responsabilizado administrativamente, independente de culpa ou dolo, sem prejuízo das san-

ções cíveis e criminais. O artigo 112 diz que, além das penalidades que lhe forem impostas, o infrator será responsável pelo ressarcimento à administração pública das despesas que esta vier a fazer em caso de perigo iminente a saúde pública ou meio ambiente. O artigo 113 cita que o servidor público que cometer alguma infração às disposições da Lei Ambiental, fica sujeito a sanções administrativas e penas cabíveis, podendo, inclusive, perder o cargo. [11]

O Código Estadual reserva o capítulo IV, artigo 27, do Título III, instrumentos da política Estadual do Meio Ambiente, para Educação Ambiental. No referido artigo consta que compete ao Poder Público promover a Educação Ambiental em todos os níveis de sua atuação e a conscientização da sociedade para a preservação, conservação e recuperação do meio ambiente, devendo considerar:

- I - a educação ambiental sob o ponto de vista interdisciplinar;
- II - o fomento da conscientização ambiental junto a todos os segmentos da sociedade;
- III - a necessidade das instituições governamentais estaduais e municipais de realizarem ações conjuntas para o planejamento e execução de projetos de educação ambiental;
- IV - o veto à divulgação de propaganda danosa ao meio ambiente e à saúde pública;
- V – a capacitação dos recursos humanos para a operacionalização da educação ambiental, com vistas ao pleno exercício da cidadania.

## **1.2 EDUCAÇÃO AMBIENTAL, PARÂMETROS CURRICULARES (PCNS) E OUTRAS CONSIDERAÇÕES**

A Educação Ambiental, sem dúvida, é um assunto importante e reconhecido por lei conforme já se viu nas Constituições Federal e Estadual. Especificamente dentro da Lei de Diretrizes e Bases da Educação, n.º 9394/96, os princípios da Educação Ambiental são reafirmados.

A Lei 9394 de dezembro de 1996, Lei de Diretrizes e Bases da Educação, determina que a Educação Ambiental deverá ser considerada na concepção dos conteúdos curriculares de todos os níveis de ensino, sem constituir disciplina específica, implicando no desenvolvimento de hábitos e atitudes sadias de conservação ambiental, respeito à natureza, a partir do cotidiano da vida, da escola e da sociedade. [4]

Mazzini [4] ainda diz que Educação Ambiental deve ser um processo dinâmico, permanente e participativo. As pessoas envolvidas devem ser agentes de transformação social, participando tanto do diagnóstico quanto da busca de alternativas e da implementação de soluções.

Leonardi [12] classifica didaticamente a educação ambiental de 3 formas: (1) formal, aquela que é exercida como atividade escolar (pré, fundamental, ensino médio e superior). Possui conteúdos, metodologia e avaliação definidos; (2) não formal, exercida em outros espaços da vida social. É realizada fora da escola e da sala de aula por entidades como ONGs (organizações não governamentais), sindicatos, empresas, secretarias de governo, associações de classe, igrejas, etc. Tem objetivos e metodologia periodicamente definidos. Realizam atividades em parcerias dirigidas a parques, áreas verdes, cursos, seminários, pesquisas financiadas por órgãos nacionais e/ou internacionais; (3) educação informal, realizada em outros espaços, não possui compromisso obrigatório com a continuidade. Não se exige metodologia clara e definida. Torna-se até difícil definir se estão praticando a informal ou não formal. É o que ocorre nos meios de comunicação (por exemplo, na TV, onde existem até programas periódicos ou revistas, jornais, etc).

No Brasil as questões ambientais estão incluídas nos currículos através do que se chama temas transversais, norteados nos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs).

Os PCNs foram criados pela Secretaria de Educação Fundamental do Ministério de Educação e Cultura em 1988. Trata-se de um conjunto de proposições elaboradas para servirem de base para a elaboração e revisão das políticas de currículo dos Estados e Municípios e para orientação dos investimentos no Sistema de Educação, propondo princípios pedagógicos e metodológicos que devem ser observados pelas instituições de ensino. [13]

Carvalho [14] retrata que os PCNs são apresentados como uma reunião de propostas atuais e eficazes para analisar as políticas curriculares nacionais, no que concerne à elaboração de projetos educativos, ao planejamento didático e reflexões sobre a prática pedagógica. Busca elaborar referenciais básicos e de qualidade para organizar o sistema educativo do país. Os PCNs têm como características primordiais a abertura, a flexibilidade e a temporalidade. É um conjunto de sugestões para análise. Embora não sejam uma norma existe uma forte tendência de que estes sejam indiretamente obrigatórios para a elaboração dos currículos.

Segundo a Secretaria de Ensino Fundamental do Ministério de Educação [13] o Meio Ambiente está inserido no ensino pelas orientações da Lei 9795/99, através de ações prioritárias como o projeto de educação ambiental no convívio da escola e a inserção de temas do meio ambiente nas disciplinas do ensino fundamental – PCNs em ação de Meio Ambiente, o qual busca incorporar este tema ao cotidiano escolar por meio das disciplinas. Com relação a Política Nacional da Educação, sobre o ensino médio, o item 19 diz claramente que a educação ambiental deverá ser tratada como tema transversal e será desenvolvida como prática educativa integrada, contínua e permanente, em conformidade com a lei n.º 9795/99.

Como a Educação Ambiental tem um caráter holístico e integrador, ela é tratada de forma mais sensível nos PCNs através da proposta de trabalhá-la como tema transversal. Os problemas ambientais não se restringem à proteção da vida mas à qualidade da mesma. Distribuição desigual de renda e injustiça social também são temas ambientais, daí o caráter de transversalidade. [13]

Hale [15], de outra maneira, coloca que educação e treinamento são necessários para as empresas atingirem ética ambiental, ou se tornarem ambientalmente amigáveis. Na parte do treinamento deve-se atingir as seguintes áreas: (1) acesso a fontes para informação precisa e atualizada a níveis nacionais e internacionais, critérios de criação de etiquetas ambientais; (2) identificação da melhor tecnologia limpa para aplicação a um processo industrial específico; (3) análise dos efeitos de certos processos no ambiente, análise do ciclo de vida. Especificamente, no desenvolvimento e implementação de tecnologias de produção mais limpa, os elementos mais importantes em tais treinamentos devem abordar avaliação de impacto ambiental da produção, processos de minimização de resíduos, análise do ciclo de vida dos produtos.

### **1.3 PRODUÇÃO MAIS LIMPA**

O gerenciamento ambiental e a produção mais limpa são aspectos críticos para a economia e competitividade nos negócios. A União Européia (EU), por exemplo, tem em torno de 400 diretrizes de operação ambiental. Estas são implementadas por todos os estados membros da EU para tornarem-se ambientalmente amigáveis. Negócios externos a EU também devem observar estes requisitos no momento em que realizam negócios com a EU.

Um dos objetivos da EU é encorajar medidas que forcem o desenvolvimento ambiental, como o rótulo verde e a análise do ciclo de vida. Regulamentações em torno de rótulo verde definem a redução de impacto ambiental através da minimização do uso de recursos naturais, das emissões para o ar, água e solo e da geração de resíduos e ruídos. A análise do ciclo de vida é um processo para identificar e medir impactos ambientais associados com o produto, processo ou atividade, bem como energia, materiais usados e resíduos liberados para o meio ambiente. Também tem como objetivo avaliar oportunidades para melhorar os efeitos ambientais. A avaliação inclui etapas desde a extração e processamento das matérias primas, produção, transporte, distribuição, uso, reuso, manutenção, reciclagem e disposição final. O rótulo ambiental e a análise do ciclo de vida de um produto levam a mudanças na natureza e práticas nas indústrias, as quais, tornam a produção mais limpa. [15]

As Normas ISO 14000 têm sido referencial para a qualidade ambiental. As Normas prevêm requisitos para um Sistema de Gestão Ambiental Básico, para a Auditoria Ambiental, para Avaliação de Desempenho Ambiental e para a Avaliação de Produto (Rotulagem Ambiental, Ciclo de Vida e Aspectos Ambientais nos Produtos Padrões. [16]

Gestão ambiental é um processo contínuo e adaptável, através do qual uma organização define e redefine seus objetivos e metas relativas à proteção ambiental, à saúde e à segurança de seus empregados, clientes, comunidade, assim como seleciona estratégias e meios para atingir tais objetivos em determinado período de tempo, por meio de constante interação com o meio ambiente externo. [1]

Muitas empresas têm implementado “produção mais limpa” (PML) como um objetivo inicial para uma futura certificação ISO 14000, outras para atingir a “eco-eficiência” ou ainda apenas para melhor cumprir as legislações vigentes e aumentar a eficiência econômica. Por outro lado, empresas que já são certificadas continuam aplicando conceitos ambientais de produção mais limpa e tecnologias limpas dentre outros, já que devem buscar constantemente uma melhoria ambiental.

O conceito de Produção Mais Limpa foi desenvolvido pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) em cooperação com uma rede de agências e governos e inclui a prevenção à poluição, a conservação de recursos, a eco-eficiência e produtos mais limpos [4]. Significa a contínua aplicação de uma estratégia preventiva para processar produtos e serviços com o objetivo de aumentar a eco-eficiência e reduzir riscos

para pessoas e meio ambiente. [17,18]

Uma organização eco-eficiente é aquela que reconhece e explora as oportunidades de melhoria, sem desperdícios, sem a ineficiência operacional da poluição e que trata a questão ambiental como um investimento integrado com qualidade. [4]

Eco-eficiência e produção mais limpa são estratégias que administradores podem usar para melhorar sua linha de produtos e sua *performance* ambiental ao mesmo tempo. Eco-eficiência é uma combinação de eficiência econômica e ecológica; significa basicamente “fazer mais com menos”. Produzir mais bens e serviços com menos energia e recursos naturais. O termo Eco-eficiência foi criado pelo *World Business Council for Sustainable Development* (WBCSD) em 1992, sendo ponto de partida para a competitividade de preços de bens e serviços que satisfaçam as necessidades humanas e tragam qualidade de vida, enquanto reduz progressivamente a intensidade do impacto ecológico e recursos através do ciclo de vida, cuidando, em última linha, da capacidade da Terra. Os termos eco-eficiência e produção mais limpa são praticamente sinônimos. A diferença é que a eco-eficiência inicia na eficiência econômica e tem, em decorrência, benefícios ambientais, enquanto que a produção mais limpa inicia na eficiência ambiental e tem como benefícios a economia. [19,20,21]

Segundo a *United Nations Environment Program* (UNEP) [19], produção mais limpa descreve uma medida de gerenciamento ambiental. Não é nem uma definição legal, nem científica, para ser discutida, analisada ou para ser objeto de disputas teóricas. É um termo irmão que engloba o que alguns países chamam de eco-eficiência, minimização de resíduos ou produtividade verde. Ela só insiste que o crescimento seja sustentável. Não deveria ser somente estratégia ambiental, porque inclui aspectos econômicos. E, neste caso, resíduo é considerado um “produto” com valor econômico negativo pois não deveria ter sido gerado, é um desperdício. Cada ação para reduzir consumo de matéria prima e energia, e prevenir ou reduzir a geração de resíduos, pode aumentar a produtividade e trazer benefícios financeiros para a entidade. É uma estratégia *win-win*. Ela protege o ambiente, o consumidor e o trabalhador enquanto aumenta a eficiência industrial, a lucratividade, e a competitividade.

Ainda, de acordo com a UNEP [19], a produção mais limpa está associada a filosofia de “antecipar e prevenir é melhor que curar”, ao contrário de controle de po-

lução, que é uma tecnologia fim de tubo, onde o resíduo é gerado, controlado, e tratado.

A produção mais limpa pode ser aplicada ao processo de produção, aos produtos e aos serviços. [18,19, 21]

No processo de produção visa a conservação das matérias primas e insumos como energia e água, a eliminação de materiais tóxicos, a redução da quantidade e toxicidade de todas as emissões e resíduos.

Nos produtos está presente na redução do impacto negativo ao longo do ciclo de vida do produto desde a extração da matéria prima até sua disposição final

Nos serviços visa a incorporação de conceitos ambientais no projeto (*design*) e serviços de entrega.

Dentre as opções para produções mais limpas podemos citar :

a) *Good housekeeping* - boas práticas de gerenciamento empresarial - esta opção capacita a identificação da utilização ineficiente de recursos (matérias primas, insumos, energia), que resulta em prejuízos para o meio ambiente. Também visa realizar reduções de custo a curto prazo, aumentar a segurança do trabalho e saúde ocupacional, organizar a implementação de boas práticas, realizar o manuseio eficiente de matérias primas, insumos e energia, evitar a produção de resíduos e verificar o adequado tratamento destes. Simplificando, *good housekeeping* é um conjunto de medidas que visa o uso racional, eficiente e econômico das matérias primas, materiais auxiliares e energia. Inclui limpeza, ordem e segurança [3, 18, 22, 23, 24];

b) Otimização de processo – busca a redução de material e recursos usando processo de minimização [ 18 ] ;

c) Substituição de matérias primas – visa a substituição de materiais perigosos por outros menos nocivos [18];

d) Implementação de novas tecnologias, tecnologias limpas – esta opção pode reduzir recursos, minimizar resíduos, usando novas técnicas e/ou novos equipamentos. Novos equipamentos podem ser caros, mas se pagam rapidamente.[18] Por exemplo, uma empresa de calçados, com produção de solados de borracha, tinha seu processo de vulcanização realizado com moldagem por compressão direta usando prensas hidráulicas. Substituiu as prensas por injetoras (custo inicial alto). Com isto, reduziu seu resíduo em 90%, tendo maior aproveitamento da matéria prima (menos perdas) e deixou de pagar para acondicio-



nar e dispor os resíduos adequadamente. Esta economia, em um período de dois anos, pagou o investimento inicial das injetoras.

O European IPPC Bureau, por exemplo, tem uma Diretiva (96/61/EC) que trata da prevenção e do controle de poluição integrados. Sugere as melhores técnicas disponíveis para sistemas de tratamento e gerenciamento de água residuária comum e emissões gasosas no setor químico, bem como técnicas de redução e prevenção á poluição [25];

e) Novo *design* de produto, *ecodesign* - Trata-se de projetos de produtos, desde a extração da matéria prima até o descarte final, com previsão de um baixo impacto ambiental visando uma reciclagem no futuro. Pode envolver a questão das embalagens, materiais de mesmo tipo na confecção de uma objeto com várias partes, criando desenhos com fácil encaixe e desencaixe visando reciclagem posterior. Trata-se de planejamento de produtos mais eco-eficientes, com estudo do ciclo de vida. Enfim, o projeto é idealizado para melhorar processos, reduzir a necessidade de materiais perigosos, possibilitar a reciclagem, melhorar o uso de recursos como, por exemplo, usar de forma mais adequada a distribuição da luz natural em construções, melhorar o isolamento térmico de construções a fim de minimizar o uso de ar condicionado, etc.

Para se conseguir uma produção mais limpa é necessário repensar o processo ou o produto com uma visão consciente do meio ambiente. Nem sempre é necessário alto investimento, às vezes uma simples otimização e um bom gerenciamento empresarial é suficiente.

Por outro lado, não adianta investir em tecnologias limpas com uso de equipamentos caros se o processo não está organizado para isto, por exemplo, os resíduos estão misturados e há muito desperdício. É preciso, antes de mais nada, “colocar a casa em ordem”.

O Centro Mexicano para a produção mais limpa sugere cinco fases na implantação de produção mais limpa: o Planejamento e Organização, a Avaliação prévia, a Avaliação, o Estudo de Viabilidade e a Implementação [26]. Cada fase tem atividades que devem ser executadas em ordem, como temos a seguir:

#### Fase I - Planejamento e Organização

Esta fase inclui todas as atividades relacionadas a conscientização dos envolvidos e o estabelecimento de metas. Em primeiro lugar é preciso obter o compromisso da gerência,

convencer a gerência dos benefícios de uma produção mais limpa.

A equipe do projeto deve ser estabelecida, tendo-se representantes de todos os setores que tem alguma ligação com o programa.

As metas de produção mais limpas devem ficar bem estabelecidas. Nas metas pode-se observar os custos, as quantidades usadas, a inflamabilidade, as reações químicas, as emissões ao ar, as emissões à água, os custos dos resíduos, os métodos de disposição e os efeitos à saúde.

Além das metas, barreiras e soluções devem ser observadas pelas atitudes das pessoas e da gerência, como a falta de informação geral e técnica e problemas econômicos. Gunningham [27] confirma isto ao citar que existem barreiras internas como a falta de informação e experiência, o baixo conhecimento de publicações ambientais, a falta de prioridades nos negócios, os obstáculos financeiros, a falta de comunicação na empresa, a gerência resistente a mudanças na cultura, os obstáculos da força trabalhadora, entre outros. Ele cita também dificuldades externas como o acesso a tecnologias limpas e a financiamentos externos, a ausência de incentivos para a reciclagem de bens e ciclos econômicos.

Antes de tudo deve-se conscientizar a todos sobre os benefícios da produção mais limpa. Deve-se deixar claro que não é um processo de assumir culpas, mas um processo onde se pode sugerir livremente para se alcançar uma melhora na produção. Pode-se apresentar o programa como parte do desenvolvimento positivo da empresa e parte integrada no desenvolvimento dos produtos. Pode-se apresentar casos de outras empresas do mesmo setor que tiveram êxito com a produção mais limpa ou reunir informações sobre as tecnologias disponíveis ou substituições. Também se pode avaliar os custos de energia, dos resíduos e emissões e considerá-las como recursos potenciais. Um dos fatores mais importantes é ter como metas mudanças sem custo ou de baixo custo e fáceis de implementar.

## Fase II - Avaliação prévia

Para uma avaliação prévia um diagrama de fluxo de processo deve ser desenvolvido. Um diagrama de fluxo é muito importante e fundamental para o balanço de materiais e de energia. Pode-se elaborar um diagrama de blocos que mostre as entradas e as saídas, dando atenção especial aos fluxos de reciclagem.

Nestes diagramas devem estar incluídos o armazenamento e o transporte de materi-

ais, a manutenção e os reparos de equipamentos, as emissões fugitivas, etc.

A partir dos diagramas o enfoque para a produção mais limpa deve ser selecionado (como o nível de risco ambiental, a toxicidade, a inflamabilidade, a corrosão, a reatividade, o custos das matérias primas, o consumo de energia elétrica, o potencial para recuperar produtos valiosos, os recursos para investimentos, o cumprimento de regulamentações atuais e futuras, o potencial de resíduos, os riscos de segurança para os funcionários, a facilidade para usar tecnologia limpas).

### Fase III - Avaliação

Na fase de avaliação um balanço de materiais deve ser elaborado. Ele permite quantificar as entradas e saídas, os resíduos, as perdas ou as emissões desconhecidas. O diagrama de fluxo é a base para o cálculo do balanço de materiais. Através do balanço de materiais pode-se avaliar as causas da geração dos resíduos e emissões.

Segundo o Centro Mexicano Para La Producción Más Limpia [26], um processo é composto por cinco partes, conforme mostra a figura 1. As dificuldades de cada parte devem ser analisadas visando a melhoria do processo. Cada parte deve ser analisada separadamente com vistas a facilitar a implementação de uma produção mais limpa.

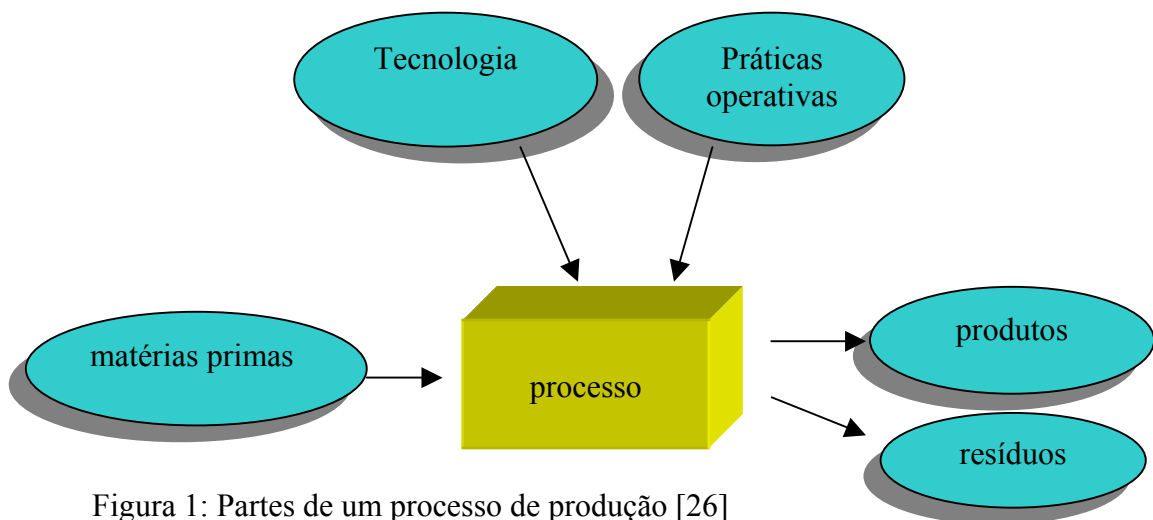


Figura 1: Partes de um processo de produção [26]

Após a elaboração de um diagrama de fluxo e do balanço de materiais, estes devem ser utilizados para se efetuar as mudanças. As opções dependem de conhecimento e criatividade. Dentre várias, pode-se citar a mudança na matéria prima (eliminando, reduzindo ou substituindo os materiais tóxicos e perigosos, novas especificações, considerando o ciclo de vida), mudança da tecnologia (modificações do processo ou equipamento para reduzir resíduos e emissões), boas práticas de operação (medidas administrativas ou institucionais como novo *lay-out*, manutenção preventiva, questões de armazenamento, quantidades a serem compradas e estocadas, manejo dos produtos). A reutilização e reciclagem na planta também devem ser previstas, pois trata-se de retorno do capital investido.

Para selecionar opções, estas devem ser agrupadas em 3 categorias: as que foram geradas por operação, as que são mutuamente exclusivas e as interdependentes. As que têm prioridade de implantação devem, então, ser escolhidas.

#### Fase IV- Estudo de viabilidade

O estudo de viabilidade de implantação inclui as avaliações técnicas, econômicas e ambientais.

Na avaliação técnica são verificados os aspectos de impacto ambiental e de segurança, bem como dados de laboratório. A avaliação deve ser feita com todos os funcionários e departamentos atingidos.

A avaliação econômica deve ser racional, a mais atrativa, observando a rentabilidade, o período de recuperação, a taxa interna de recuperação, etc.

Na avaliação ambiental deve ser analisada a redução da toxidade, da quantidade de emissões e resíduos, bem como aspectos ambientais relativos a vida útil do produto e descarte.

#### Fase V- Implementação

A fase de implementação inclui a implementação das opções escolhidas, a supervisão e a avaliação do avanço e a contínua manutenção do plano.

## 1.4 PREVENÇÃO À POLUIÇÃO (P2), MINIMIZAÇÃO DE RESÍDUOS E RECICLAGEM

Segundo a UNEP [21], os termos Produção Mais Limpa e Prevenção de Poluição são, às vezes, usados trocados entre si. A distinção entre os dois é geográfica. O termo prevenção de poluição tende a ser usado na América do Norte, enquanto produção mais limpa é usada em outras partes do mundo. Ambos, Produção Mais Limpa (PML) e Prevenção de Poluição (P2) têm o foco na redução contínua da poluição e do impacto ambiental através da redução de recursos. O tratamento de resíduos não faz parte de produção mais limpa ou prevenção à poluição porque isto não previne a criação de resíduos.

Na Holanda [3], por exemplo, a política preferencial para a redução de resíduos e emissões inicia na prevenção, seguida então de outras possibilidades como a reutilização em segundo lugar. A reciclagem vem em terceiro lugar. Em quarto lugar vem a aplicação em outro processo, depois a incineração, de preferência com recuperação de energia e, em último caso a disposição do resíduo.

Mahmoud [28] também cita uma hierarquia de atividades de gerenciamento. Em primeiro lugar cita a redução de recursos. Pode-se diminuir a quantidade e toxicidade dos resíduos e recursos através de modificações de equipamentos, mudança na operação e *design* do processo, reformulação, *redesign* de produto, uso de reações químicas benéficas ao meio ambiente. A seguir vem a reutilização/reciclagem, onde tipicamente se usa tecnologias de separação para recuperar solventes, metais, compostos inorgânicos específicos e água. Em terceiro lugar está o tratamento fim de tubo (*end-of-pipe*), que aplica processos físicos, químicos, biológicos para reduzir a toxicidade ou volume de resíduo. A última opção é a disposição dos resíduos de forma ambientalmente correta. O tratamento fim de tubo e a disposição final não fazem parte da prevenção da poluição, mas se tornam as últimas opções para os resíduos não reutilizados ou reciclados.

Ainda, segundo Mahmoud [28], para se efetuar prevenção de poluição, minimização ou reciclagem podem ser usados experimentos em laboratórios ou planta piloto. O processo de otimização envolve a seleção da melhor solução entre várias. Para isto, deve-se usar uma metodologia integrada. O grau de excelência da solução é medido usando uma função objetivo (por exemplo, custo, geração de resíduo), os quais podem ser minimizados ou maximizados. As restrições são variáveis importantes, resultantes da igualdade ou desi-

gualdade de expressões, como balanço de energia, equação do modelo do processo, requisitos termodinâmicos, quantidade de certos poluentes, que deve ficar abaixo dos limites especificados. Existem programas simuladores que podem ser adaptados a cada caso. O ideal é integrar custos, balanço de massa, de energia e benefícios ao meio ambiente para escolha do melhor processo.

O órgão de proteção ambiental do Canadá define Prevenção de Poluição como o uso de processos, práticas, materiais, produtos ou energia que evite ou minimize a criação de poluentes e resíduos e reduza o risco à saúde humana e ao meio ambiente. Já a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos [21], *Environmental Protection Agency* (EPA), define Prevenção de Poluição como redução na fonte, prevenindo ou reduzindo resíduos onde são originados.

De acordo com a EPA a prevenção de poluição tem uma definição legal e uma prática [22]. A legal é obtida no Ato de Prevenção de Poluição de 1990 (§ 6603). Neste contexto temos a redução de substância perigosa ou contaminante de fluxo de resíduo (incluindo emissões fugitivas) após reciclagem, tratamento ou disposição. O termo inclui modificações de equipamentos ou tecnologias, procedimentos e processos, reformulação ou *redesign* de produtos, substituição de matérias primas e melhoria no gerenciamento empresarial, manutenção, treinamento e controle de estoque. A definição prática trata de mudanças de atitudes para reduzir a geração de resíduos.

Na prevenção de poluição, segundo a EPA [22], pode-se incluir:

- ◆ Atitudes que reduzem volume e toxicidade de poluentes e geração de resíduos durante o processo de manufatura e que podem diminuir a toxicidade do produto final antes da reciclagem, tratamento e disposição;

- ◆ Mudanças no *design* de produto, na composição da matéria prima e no produto final para diminuir poluentes gerados durante a produção e para reduzir o impacto ambiental durante ou após o ciclo de vida do produto (ex.: replanejar uma pintura, usando tinta a base d'água, sem solvente e sem compostos contendo metais pesados);

- ◆ Mudança de tecnologia/processo como, por exemplo, a melhoria da vedação de um equipamento ou o ajuste da temperatura para reduzir emissões ou a substituição de processo de limpeza com solvente por sistema seco abrasivo;

- ◆ Mudança de material na alimentação, assim como a substituição de produtos químicos perigosos por outros menos nocivos. Ex.: substituição do cloro por ozônio no

branqueamento;

- ◆ Reciclagem e reutilização no próprio processo como um sistema fechado. Um material reciclado é um material secundário que pode ser usado, reutilizado ou recuperado. (ex.: metais, solventes, tintas, água);

- ◆ Medidas de melhoria de operação e manutenção preventiva, controle de estoque, melhor gerenciamento empresarial.

Boas práticas de gerenciamento empresarial incluem medidas simples como, por exemplo, a redução do consumo de energia pela exploração da luz natural do dia em uma garagem. Ações como a colocação de telhas transparentes no teto e tijolos de vidro transparente nas paredes, pintura branca para paredes de cimento, para melhor refletir a luz natural, ocasionaram uma grande economia de energia elétrica, já que antes destas mudanças as lâmpadas permaneciam acesas durante 12 horas por dia e, após a mudança, as lâmpadas permanecem acesas por apenas 3 horas por dia. [23]

Existem diversas sugestões para implantação de programas de prevenção à poluição. Pode-se citar aqui um trabalho da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB), órgão ambiental de São Paulo, sobre metodologia para implantação de um programa de prevenção à poluição (P2). Trata-se de um material de apoio para ser adaptado às condições específicas da empresa interessada [29].

O programa de P2 representa um processo de melhoria contínua, ou seja, ao final do programa, novas metas são estabelecidas, reiniciando novamente o ciclo de implementação. O programa sugerido pela CETESB [29] inclui etapas que iniciam com o comprometimento da gerência e a definição da equipe. A equipe, então, elabora a declaração das intenções, estabelece as prioridades, objetivos e metas. Após, elabora o cronograma e dissemina as informações sobre P2. A seguir faz o levantamento das tecnologias disponíveis, a avaliação técnica e econômica. Então, a equipe seleciona oportunidades de aplicação de P2 na empresa. A partir daí ocorre a implementação das medidas escolhidas e, a avaliação dos resultados. Uma vez que o programa está implantado e avaliado, a sua manutenção é realizada, novas metas são estabelecidas e o processo tem continuidade.

A prevenção à poluição protege o ambiente e procura diminuir custos associados ao tratamento e disposição de resíduos. Se não há poluição gerada não há poluentes para serem controlados e gerenciados.

Uma das técnicas para prevenir a poluição é a minimização de resíduos. Este conceito foi introduzido pela *U.S. Environmental Protection Agency* (EPA) em 1988. Minimização significa reduzir no próprio lugar “*on site*” ou redução na fonte, através de mudança das matérias primas que entram, mudança de tecnologia, boas práticas de operação e mudanças no produto. Reciclagem fora do lugar “*off site*” pela reutilização direta após a regeneração também é considerada técnica de minimização, mas tem uma prioridade mais baixa comparada com prevenção ou minimização *on site*. [20, 21].

Slater [30] aborda a minimização de resíduos em um contexto de controle de poluição integrado. Resíduo pode ser interpretado como qualquer perda ou descarga de algum material para algum meio. Técnicas como a incineração, a transformação do resíduo em um composto químico menos perigoso, o tratamento biológico, transferência do resíduo de um meio para outro, onde se torna menos nocivo, diluição ou dispersão são técnicas de “fim de tubo” e, em programas de minimização são consideradas como as últimas medidas que devem ser usadas, quando realmente não é possível eliminar, reciclar ou reutilizar o resíduo. Usando minimização de resíduos temos proteção ambiental e redução de custos de produção, menos poluição e menos consumo de recursos.

Laing [31] aborda a minimização de resíduos para evitar o “tratamento fim de tubo” usando quatro níveis hierárquicos: reduzir a poluição na fonte, maximizar reciclagem e reutilização de resíduos, efetuar tratamento, quando não é possível reutilizar ou reciclar, por método que cause o menor impacto ambiental possível, e realizar disposição final segura. Considera que as técnicas mais importantes são a redução na fonte, a reciclagem e reutilização.

Manahan [32] faz uma colocação importante quando diz que minimizar as quantidades de resíduos é um bom negócio. Significa economizar. Quando, mesmo assim, ainda houver resíduos, deve-se lembrar que resíduos são materiais, materiais tem valor e todo material deve ser usado para algum beneficiamento e não para descarga como resíduo, normalmente com alto custo de disposição.

A minimização de resíduos tem sido usada incorretamente por alguns como “compactação de resíduos”, combustão para destruição e recuperação de energia, tratamento químico e disposição. A minimização não inclui atividades de gerenciamento convencional de resíduos. Frequentemente, os termos minimização e prevenção de poluição são trocados



entre si. Prevenção de poluição significa não gerar resíduo em primeiro lugar, através da redução na fonte. Minimização de resíduos é um termo irmão que também inclui reciclagem e redução de quantidades de resíduos para tratar e dispor posteriormente. [28]

Manahan [32] ainda cita que a reciclagem de resíduos pode ser realizada de forma direta como matéria prima para o próprio processo, transferência como matéria prima para outro processo, às vezes para outra empresa, utilização no controle de poluição, por exemplo, uso de resíduo alcalino para neutralizar efluente ácido, recuperação de energia pela incineração de resíduos combustíveis.

Reciclagem é o ato de tornar útil e disponível novamente, eventualmente através de um processo de transformação físico-química, um material que já foi utilizado anteriormente dentro de um sistema. Materiais que seriam descartados como lixo tornam-se novamente matéria prima para a manufatura de bens, reduzindo a extração de recursos naturais. Pode haver vários tipos de reciclagem, por exemplo: a) a reutilização de materiais com um mínimo de reprocessamento (garrafas de vidro, por exemplo); b) a reciclagem pelo próprio fabricante, de produtos que não passaram pelo controle de qualidade; c) a reciclagem de materiais pós-consumo, que envolve separação prévia na fonte geradora, coleta seletiva, limpeza e reprocessamento, por exemplo reciclagem de plásticos.[4]

Retirar da massa de resíduos um ou mais componentes de interesse que possuam valor econômico também é considerado reciclagem, como por exemplo, recuperar metais preciosos de um resíduo de laboratório. Da mesma forma, reciclar pode se referir a melhora da qualidade de um determinado produto pela retirada de certas impurezas ou então pela concentração de um ou mais componentes, por exemplo, recuperar componentes de banho de níquel eletrolítico, nas águas de lavagem, por eletrodialise.

Para a reciclagem é obrigatório que se obtenha o licenciamento ambiental, fornecido pelo órgão ambiental. Além disto, considerando o ponto de vista industrial e ambiental, deve ser realizado um controle de qualidade do resíduo reciclado, para que o mesmo não seja propagador de outros tipos de contaminação. Para incentivar a reciclagem têm sido criados sistemas de troca de informações sobre resíduos disponíveis e desejados, as chamadas bolsas de resíduos.[4]

## 1.5 MINIMIZAÇÃO DE RESÍDUOS, PREVENÇÃO À POLUIÇÃO EM INSTITUIÇÕES EDUCACIONAIS, BOAS PRÁTICAS DE LABORATÓRIO

As instituições educacionais e de pesquisa têm diferentes problemas de gerenciamento de resíduos em relação às empresas. Empresas geram um fluxo com grande volume de resíduos, mas com pouca variedade. Escolas geram pequenas quantidades com enorme variedade de compostos químicos. Às vezes, em uma aula pode haver trinta diferentes compostos, em quantidades de, por exemplo, até 1 ml de cada. Estes vão gerar inúmeros resíduos diferentes, todos em quantidades muito pequenas. A questão da tomada de decisão também é diferente. Muitas vezes, a escola não tem autonomia para tomar medidas típicas de gerenciamento dos resíduos devido à burocracia administrativa que controla a política, a provisão de recursos e decisões. [33]

Noyes [33] cita que Universidades como Illinois e Massachussetts geram em torno de 2000 tipos de resíduos de compostos químicos diferentes, acondicionando-os em *containers* que vão desde 10.000 litros até uma simples ampola. A necessidade de disposição cuidadosa e dentro da Legislação, bem como os altos custos, são incentivos chave para estabelecer programas de gerenciamento de resíduos, com medidas de minimização e programas de prevenção de poluição. Em entidades educacionais os resíduos químicos têm sua origem em reagentes expirados, em experimentos educacionais e de pesquisa de laboratórios, oficinas, manutenção, laboratórios de educação artística, pinturas, etc.

Escolas são membros de uma comunidade e tudo o que fazem em termos de minimização de resíduos serve como exemplo. A prática de minimização de resíduos na escola ensina a responsabilidade ambiental, além de gerar economia de divisas. As escolas também devem seguir as normas ambientais regulamentadas pelos órgãos competentes. [34]

Para uma minimização de resíduos podemos usar 3 caminhos: (1) redução de recursos; (2) separação de resíduos, (3) concentração de resíduos, pois alguns podem ser reutilizados ou reciclados. Além disto a redução do volume é importante na secagem da lama após o tratamento físico – químico. A permuta de resíduos entre diferentes setores ou laboratórios da própria entidade ou entre outras entidades também pode ser implementada. Para que isto funcione de maneira organizada pode-se fazer um inventário de resíduos, já que os resíduos de hoje poderão se tornar reagentes amanhã. [35]

A separação de resíduos, para recuperação, pode ocorrer através de medidas simples como a classificação e o acondicionamento dos determinados tipos de resíduos em *containers* diferentes ou a separação física (sedimentação, decantação, centrifugação...), a separação por fase, onde o material que se quer fica em uma fase diferente e pode ser evaporado, sublimado, condensado da fase de vapor, destilado ou precipitado por resfriamento do solvente ou evaporação deste. A separação pode ocorrer também por transferência entre fases (extração com outro solvente), separação molecular e separação química. Outras separações incluem adsorção em carvão ativo, troca iônica, separações moleculares como osmose reversa, eletrodialise e ultrafiltração. Separações químicas envolvem precipitação através de reações químicas, como precipitação de cádmio por H<sub>2</sub>S. Outros tipos de reações químicas são a oxidação/redução, que podem incluir o processo eletrolítico (como a recuperação de zinco e cádmio de resíduo de eletrodeposição contendo cianeto, conforme indica EPA/600/52-86/094 “*Evaluation of the HSA reactor for metal recovery and cyanide oxidation in metal plating operations- 1986*”) e a cementação, substituição por um metal em estado elementar com menor atividade que o metal presente como íon na solução. [35]

A EPA [34] sugere etapas para implementação de minimização de resíduos, muito semelhantes as etapas de produção mais limpa [26] e de implantação de programa de prevenção à poluição [29]:

- ◆ Planejamento (criação de comitê, estabelecimento de metas, organização de programa de avaliação e regulamentação), o que gera a organização dos objetivos e procedimentos;
- ◆ Avaliação (coleta de dados, seleção de regulamentações, seleção de pessoal para avaliação, revisão de dados e inspeção de lugares, opções gerais, seleção de opções para estudos), o que leva a relatório de avaliação e seleção de opções;
- ◆ Análise de possibilidades (avaliação técnica, econômica, seleção de opções para implantação), o que resulta em um relatório final com as opções escolhidas;
- ◆ Implementação (justificativa do projeto e obtenção de fundos, equipamentos e sua instalação, procedimentos, avaliação de execução);
- ◆ Repetição, então, dos procedimentos a partir da fase de avaliação.

A *American Chemical Society*, a agência EPA, alguns órgãos de pesquisa de governo, a National Research Council, as universidades, outros especialistas e autores sugerem medidas específicas de redução, reciclagem e melhores práticas de operação para institui-

ções educacionais e de pesquisa.

Para a minimização indicam boas práticas de operação [22, 33, 34, 36, 37, 38, 39, 40, 41], que podem ser alcançadas através de:

- ◆ Separação de fluxo de resíduos (criar linhas de um só tipo de resíduo, por exemplo, separação dos resíduos perigosos daqueles não perigosos, os recicláveis dos não recicláveis) com a verificação de incompatibilidades de produtos na estocagem;

- ◆ Adoção de medidas administrativas como a criação de um setor de gerenciamento de resíduos. Este, deve estabelecer metas de redução economicamente e tecnicamente viáveis para cada laboratório, departamento ou curso. Em primeiro lugar, a quantidade de resíduos geradas no último ano deve ser determinada. O setor deve ser responsável pelo treinamento de pessoas, pela promoção de encontros departamentais, seminários, pela promoção de auditorias internas para laboratórios a fim de minimizar acúmulo de reagentes e resíduos bem como maximizar reciclagem. Deve ser providenciado um lugar para a estocagem, segregação e tratamento dos resíduos. Tal área deve ser ventilada, equipada com chuveiro de emergência, lava-olhos, chão impermeabilizado e um telefone de emergência. [28, 29, 33];

- ◆ Melhores práticas de pessoal como gerenciamento, treinamento e incentivos, premiações à funcionários visando minimização de resíduos;

- ◆ Medidas de *good housekeeping*, limpeza, ordem, segurança, como práticas de prevenção a perdas através de manutenção preventiva de tubulações e mangueiras, como regras claras sobre uso do guarda-pó e EPIs e sobre atitudes (correrias, brincadeiras, alimentação nos laboratórios e experimentos não autorizados devem ser proibidos) área de trabalho e saída devem estar limpas e desobstruídas, planos de emergência devem ser criados, etc.

- ◆ Criação de setor de documentação com as legislações, as regulamentações e os procedimentos para transporte e estocagem, controle de inventário, manual de emergência, melhoria de práticas, etc;

- ◆ Realização de monitoramento ou auditoria interna para a coleta de dados técnicos e econômicos e/ou identificação da falta destes, bem como a realização da tabulação dos dados e o balanço de materiais. Este monitoramento pode ser realizado por uma pessoa ou por um grupo (depende do tamanho da entidade), que deve ter alta capacidade de percepção de problema, larga experiência e conhecimento.

Com relação à condução de práticas de laboratório sugerem que:

◆ A segurança em laboratório não é uma função voluntária, requer regras, programas e uma comissão específica. Além disto, a proteção a saúde e a manutenção dos cuidados constituem uma obrigação moral de cada um. Em laboratórios de ensino de escolas de ensino médio que são o primeiro contato com a química, os alunos devem ter noção sobre a corrosão, a toxicidade, a segurança de laboratório, as práticas ambientais e o gerenciamento de resíduos [41];

◆ A adoção do trabalho em micro-escala é uma alternativa que faz com que os estudantes trabalhem mais cuidadosamente, melhorem a manipulação no laboratório. Isto diminui significativamente a geração de resíduos. O inconveniente é que a vidraria é mais cara, há a necessidade de replanejar experimentos, os reagentes devem ter alta pureza, são caros, certas reações podem se alterar com calor, quando em pequenas quantidades. É necessário encontrar níveis de redução quantitativos adequados, fazendo-se comparações de resultados. A simples redução de “escala” de experimentos, por exemplo, de 500 para 50, de 100 para 10, de 10 para 1 também é indicada. O aumento do uso da instrumentação como cromatografia gasosa, espectrofotometria infra vermelho, ultra-violeta, ressonância magnética nuclear são recomendadas pois minimizam resíduos, já que usam menor quantidade de reagentes e de amostra. [33, 34, 35, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45];

◆ Devem ser feitas substituições de produtos, como por exemplo, dicromato de sódio por hipoclorito em sínteses orgânicas, tetracloreto de carbono por cicloexano na análise qualitativa de haletos, a substituição de clorofórmio por 1,1,1 - tricloroetano ou do benzeno por etanol, pois a eliminação de produtos carcinogênicos tais como benzeno, tetracloreto de carbono e clorofórmio são indicadas. Cloreto de mercúrio II usado como biocida pode ser substituído por HCl 1M e a precipitação de cátions como sulfetos pode ser substituída por hidróxido [38, 39, 40, 41];

◆ Para a limpeza de vidraria o uso de detergentes e/ou banhos sônicos como substituintes de ácido crômico ou da solução sulfocrômica é determinante para a prevenir a poluição. Sugerem também que se evite a solução de KOH alcoólica para limpeza de vidraria por ser corrosiva e inflamável [34, 40, 41];

◆ A diluição de resíduos deve ser minimizada ao máximo, de preferência não deve ocorrer [33, 34]. Diluição não faz parte de minimização [30]. Por exemplo, se necessário usar, em último caso, solução de limpeza a base de cromo VI, minimizar o volume de resíduo gerado pela eliminação de diluição desnecessária e separá-lo de outros resíduos [41];

◆ Para o acondicionamento pode-se classificar os resíduos em classes como solventes orgânicos clorados, solventes orgânicos não clorados, soluções aquosas de metais tóxicos, soluções de metais, soluções de ácidos e bases, resíduos sólidos, fotográficos [36] oxidantes, corrosivos, inflamáveis, tóxicos, reativos, sempre observando aspectos de incompatibilidades. [36, 37, 38, 41];

◆ Um programa interno de reciclagem centralizado deve ser estabelecido, onde reagentes não usados são estocados e registrados para divulgação a todos usuários. O mesmo pode ocorrer com os resíduos, podendo-se, então, reciclar ou reutilizar os resíduos de uma atividade para outra, de um laboratório para outro. O uso de medidas para procedimentos relativos à documentação, manuseio e estocagem de materiais, reagentes, resíduos, levantamento e controle de todos através de inventário deve estar sempre atualizado, podendo ser através de fichas ou sistema computadorizado [22, 33, 34, 39, 41];

◆ Melhoria das práticas de laboratório sejam implantadas através da adoção de medidas de prevenção de perdas em acidentes e vazamentos. [34, 35, 39]. Derramamentos e quebras devem ser tratados imediatamente, para isto devem ser utilizados compostos absorventes de laboratório e bandejas suporte dos reagentes. A realização de manutenção preventiva de tubulações e equipamentos, a preparação para emergência é fundamental [34, 35, 39]. Todos os produtos químicos usados no laboratório devem ter as fichas de segurança, *Material Safety Data Sheet* (MSDS) disponíveis. [41, 43];

◆ Operações como a realização de pré-pesagem de reagentes reduzem perdas geradas pelos estudantes e aumentam a produtividade no laboratório [33, 34, 35];

◆ Solventes recuperados podem ser usados para limpezas iniciais e solventes novos somente na limpeza final. Os solventes usados, adequadamente acondicionados, podem ser reciclados através de destilação ou simplesmente reutilizados [40, 41];

◆ Termômetros de mercúrio devem ser substituídos por termômetros com líquido vermelho ou verde (etanol com corante). Isto pode trazer benefícios, principalmente no caso de quebras, desta forma não haverá contaminação com mercúrio [33, 40, 41];

◆ Deve ser incentivada a recuperação, reciclagem de metais preciosos como ouro, prata, nióbio, tungstênio, platina, em especial, devido aos seus custos [34, 45]. Resíduos de mercúrio metálico podem ser aspirados por um tubo de ponta afilada conectado a um frasco receptor ligado a uma bomba de vácuo. Caso ainda fiquem resíduos em frestas de difícil acesso deve-se espalhar enxofre no local. As gotículas de mercúrio ficam aderidas ao enxofre e podem ser varridas [43, 46]. Alguns metais podem ser reciclados de soluções

residuárias por troca iônica, redução eletroquímica, osmose reversa, eletrodialise [35];

♦ Seja verificada a possibilidade de reagentes lacrados serem devolvidos ao fornecedor. A destruição ou tratamento de resíduos ao final das aulas pelos próprios alunos como última atividade deve ser prevista para uso cotidiano [33, 34]. Podem, inclusive, usar resíduos para tratar resíduos. Resíduos ácidos podem ser usados para tratar resíduos básicos até pH 5-9. Aldeídos e cetonas podem ser oxidados por permanganato. Cianetos inorgânicos devem ser tratados com hipoclorito de sódio. Cátions metálicos de soluções aquosas dos procedimentos podem ser precipitados como sulfetos em pH adequado. Fluoretos metálicos em soluções aquosas podem ser precipitados com  $\text{CaCl}_2$ . Oxidantes devem ser reduzidos com bisulfito de sódio. Fenol pode ser tratado com  $\text{H}_2\text{O}_2$  e catalisador de ferro. [39]. Sabe-se que compostos de cobalto e níquel, são carcinogênicos. Compostos de chumbo e tálio são venenos tóxicos cumulativos. Compostos de cádmio e manganês são teratogênicos. Lunn [48] sugere várias práticas para tratar resíduos líquidos de laboratório através de resina trocadora de íons. São técnicas simples, por exemplo, para soluções contendo Cd, Co, Fe, Mn, Ni, Pb, Sn, Tl, Zn, para cada 40 ml de solução, contendo não mais de 1000 mg.  $\text{dm}^{-3}$  adicionar 1g de resina Amberlit IR120 (plus). Agitar por 24 horas, filtrar, testar o filtrado e descarregar;

♦ Todos os produtos químicos e resíduos dos *containers* devem ser identificados visando a possibilidade de reciclagem [22, 33, 34]. Deve ser colocado o nome do produto, algum símbolo especial, pictograma, grau de perigo, alguma classificação e expressões como AVISO, PERIGO, CUIDADO [47];

♦ A quantidade de resíduo produzida, as práticas de tratamento e disposição de resíduos devem ser contabilizadas, mostrando o custo do gerenciamento para o departamento que gerou o resíduo, a fim de alertar e conscientizar as pessoas envolvidas [34].

A minimização e a prevenção à poluição melhoram a segurança em laboratório, já que os alunos manuseiam quantidades menores.

Universidades como a de Girona em Barcelona e universidades da Flórida, Stanford, Indiana, Toledo, nos Estados Unidos, têm programas de minimização e gerenciamento de resíduos usando princípios de produção mais limpa, minimização de resíduos e prevenção à poluição. [36, 41, 49, 50, 51]

No Brasil, por exemplo, a Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) iniciou um programa de química limpa para a graduação, dentro do Instituto de Química,

com enfoque para os resíduos de laboratórios, com minimização, prevenção, separação, rotulagem padronizada, uso de um programa de computador com fichas enumeradas que possibilita encontrar a localização, a quantidade gerada por semestre, o tratamento ou pré tratamento e a estocagem adequada. São realizadas atividades como seminários, substituição de reagentes tóxicos das experiências, redução de quantidades dos reativos, tratamento de resíduo e rejeito dentro da própria disciplina, uso de protocolo de segurança para o manuseio de compostos químicos e implantação de sistemática de coleta semanal e recuperação de resíduos [52, 53, 54]. Também existem relatos mais específicos da coleta seletiva de resíduos nas aulas de Química Orgânica experimental I [55], padronização dos rótulos para os resíduos [56], cadastramento de resíduos [57]. Segundo Gerbase<sup>1</sup> o maior problema é a resistência do corpo docente na conscientização e assimilação destes novos conceitos.

A Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUC/RS) implantou um programa de gerenciamento de resíduos, através do Instituto de Meio Ambiente da PUC que centraliza e divulga informações [58]. O programa<sup>1</sup> visa gerenciar os diferentes resíduos para atender os requisitos legais, buscar a melhoria contínua de processos que minimizem resíduos e a poluição e criar um sistema ambientalmente educativo e de consciência crítica. Usa como premissa reutilizar, reduzir, reciclar e repensar. Dentro do programa temos a criação de uma unidade para reciclagem, a realização de um estudo piloto com a implantação da unidade piloto e a disseminação do programa. Frankenberg<sup>1</sup> também colocou que o principal obstáculo é a conscientização do corpo docente para a efetivação do programa com sucesso.

A Fundação Universidade de Rio Grande (RS), propôs um projeto de gestão de resíduos nos laboratórios de Química Orgânica [59] e implementação do programa 5S aos resíduos [60]. A Universidade Federal de Pelotas também está iniciando trabalhos na área do lixo químico [61]. A Universidade de Santa Cruz (RS), em conjunto com a Universidade Federal de Santa Catarina e Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões (RS), desenvolveu um projeto sobre o problema dos resíduos dos laboratórios de solo. [62]

---

<sup>1</sup> GERBASE, Annelise, FRANKENBERG, Cláudio, COSTA, Joe da. *Química limpa nas universidades* (mesa redonda). in: XLI Congresso Brasileiro de Química. Porto Alegre, RS: Associação Brasileira de Química. 2001.



A Universidade Federal de Santa Catarina também propõe um programa de gerenciamento de resíduos químicos que inclui a minimização, atitudes de prevenção recolhimento, separação, tratamento dos resíduos. Uma medida interessante é a exigência de que os projetos de pesquisa incluam no orçamento recursos para o desenvolvimento de novas metodologias relacionadas a resíduos químicos e para o tratamento dos próprios resíduos. [63]

Na Universidade Federal do Paraná o programa de gerenciamento de resíduos surgiu da mobilização de um grupo de professores conscientizados com o problema e não como fruto de pressões da Lei ou como atitude frente a uma tragédia. A universidade está gerenciando seus resíduos com cinco etapas: (1) Coleta e tratamento; (2) armazenamento; (3) Licenciamento (para transporte e co-processamento); (4) transporte; (5) co-processamento em indústria de cimento. [64]

A Universidade de Campinas, UNICAMP, está implementando uma política de segurança e gerenciamento de resíduos químicos em laboratórios de pesquisa. O programa visa estabelecer uma estratégia de segurança no laboratório, com melhoria das instalações (infra-estrutura de segurança), solucionando os problemas de acúmulo de resíduos, evitando a repetição dos erros estruturais, educando e treinando para uma nova postura. O treinamento periódico inclui técnicas de combate a incêndio, primeiros socorros, descarte de resíduos e seminários. Também foi inserido uma rastreabilidade dos resíduos, bem identificados (rótulo adequado e protegido de estragos), tipo de acondicionamento e local adequado para estocagem. Como alternativas para o destino dos resíduos assinalou a reciclagem, o reuso, a incineração de acordo com órgão ambiental e a passivação (inertização). Como sugestões para evitar o acúmulo de resíduos nos laboratórios o programa sugere que seja evitado o uso de soluções que necessitem tratamentos dispendiosos, por exemplo, solução sulfocrômica, o que já foi implementado na norma de segurança do Instituto de Química. Além disto, a reciclagem, a substituição de produtos tóxicos por outros de menor toxicidade, a implementação de um programa a nível de graduação que realize reações em micro escala ou semi-micro devem ser avaliados. Deve-se buscar metodologias de tratamento, cujo resultado seja a produção de resíduos de baixa ou nenhuma toxicidade, de maneira que possam ser descartados na pia. [65].

Jardim [66] coloca que, em geral, a gestão de resíduos nas universidades é quase inexistente devido à falta de órgão fiscalizador e, por isto, o descarte inadequado continua

a ser praticado. Relata que existe um ativo e um passivo a ser gerenciado e se refere a um programa de gerenciamento com prevenção à poluição e uso de uma regra objetiva “quem gerou o resíduo é responsável por ele”.

No nível de escola técnica de nível médio pode-se citar, por exemplo no RS, início de projetos no Centro Federal de Educação Tecnológica de Pelotas [67, 68] e na Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira de Novo Hamburgo, este, especificamente na área do tratamento e controle dos resíduos [69].

## **1.6 IMPLICAÇÕES DE ASSUNTOS AMBIENTAIS E DE SEGURANÇA QUÍMICA NO ENSINO DA QUÍMICA**

Nos conteúdos dados hoje em dia em disciplinas experimentais, reagentes químicos são usados sem avaliação prévia de seu ciclo de vida como um produto. Não há estudo do impacto gerado enquanto determinado produto está sendo obtido, nem da energia que está sendo consumida ou do impacto ambiental gerado durante a aplicação de compostos químicos nos experimentos. Esta abordagem na área das ciências é fundamental. Deve-se focar a minimização, reutilização, reciclagem e tratamento na universidade. A minimização é o mais interessante para um programa global de gerenciamento. Minimização é um assunto obrigatório nas chamadas técnicas básicas de laboratório com vistas à futura vida profissional do aluno. A questão ambiental tem exigido novas habilidades, conhecimentos e atitudes diferenciadas para os profissionais que atuam no mercado. Há necessidade de incluir alguns princípios de toxicologia, legislação, equipamento de proteção pessoal, cuidados com a manipulação e estocagem de substâncias tóxicas e perigosas, bem como as propriedades destas substâncias. [36]

Deve haver mudanças conceituais na aprendizagem dos alunos. Tais mudanças não estão completas até os 20 anos de idade. Para o professor existe a necessidade de repensar o processo de mudança conceitual [70]. Velhas práticas morrem: “resíduos de experimentos químicos podem ser colocados na pia indo para o esgoto; produtos químicos esquecidos e reagentes, usados ou não, podem ser colocados em tubo de ensaio, béquer, garrafa, etc., sem identificação”. [36]

No ensino das ciências o estudante deve participar com o grupo na construção do

conceito e na construção do entendimento deste conceito, ele não recebe “pronto”. O professor deve ter em mente que a avaliação deve ser tanto qualitativa como quantitativa. O aluno deve ser encorajado a encarar desafios e a pensar, deve fazer analogias, deve concluir, decidir. [70]

Com o desenvolvimento há a necessidade de especialistas em práticas ambientais, para desenvolvimento de novas tecnologias específicas a fim de avaliar, diminuir ou eliminar o impacto ambiental. Existe, por isto, um aumento da necessidade da educação ambiental e treinamento em produção limpa e gerenciamento ambiental para aplicações nos processos industriais.[71]

O treinamento para produção mais limpa deve abordar as fontes de informação técnica, no nível nacional e internacional, sobre desenvolvimento de produtos e critérios de rotulagem ambiental, a identificação do melhor tipo de tecnologia limpa, medidas de minimização, para determinado processo e a forma de analisar o impacto ambiental e realizar a análise do ciclo de vida. [15]

O currículo “moderno” da química não dá aos estudantes a multidisciplinaridade analítica necessária para avaliar o potencial de P2 (prevenção à poluição) de alternativas químicas e caminhos de reação química. Greene [72] apresenta um trabalho no qual desenvolveu uma metodologia com objetivo principal de tornar os químicos capazes de comparar e avaliar reações químicas em termos de potencial de P2. O outro objetivo é demonstrar a importância da incorporação de P2 e princípios da análise de ciclo de vida na metodologia de ensino dos educadores químicos. Ele faz um estudo comparativo entre a produção de etilenoglicol e de propilenoglicol (anticongelantes). Ele compara alternativas químicas na produção, quantificação de *inputs* e *outputs* nas reações, energia requerida, reações residuais, propriedades de reagentes e produtos, eficiência de síntese (% de rendimento, % de seletividade, % de economia de átomo) e regulamentações como classificação de toxicidade necessárias. [72]

Fenner [73] coloca que é preciso preparar os jovens cientistas ou engenheiros de forma que estes possam gerar ou usar os conhecimentos que integrem as diversas áreas, envolvendo os aspectos científicos, econômicos, ecológicos e sociais. O Instituto Federal da Suíça desenvolve um curso de pós graduação em Segurança e Tecnologia Ambiental para as áreas de química, engenharia e ciências ambientais. Durante o curso um estudo de

caso é proposto. O centro deste estudo é o ciclo de vida de produtos químicos e a avaliação e o desenvolvimento de possíveis alternativas de produto e processo.

Em Ciências dos Materiais, devido à necessidade do mundo atual e à evolução tecnológica, os professores e instrutores devem usar novas tecnologias de ensino como simulações em computador, *softwares* interativos, vídeo conferências seguidas de discussões por telefone, informações via internet, demonstrações de plantas industriais, demonstrações de laboratório, Jornal de Ciências dos Materiais, bem como o livro texto e notas de aula. O estudante gerencia o seu tempo de estudo. O professor não é mais avaliado pela capacidade de estocar informações, mas sim pela capacidade de tomar decisões. [74]

Fivizzavi [75] ao abordar a questão ambiental no ensino da química relata que escolas e universidades deveriam oferecer cursos adicionais em saúde e segurança química, como uma disciplina do curso de química ou no nível de mestrado e doutorado. Questiona a existência de um curso de graduação específico sobre saúde e segurança química, pois considera que o profissional pode ter suas oportunidades de trabalho limitadas e que a experiência anterior a este curso na área da química é muito valiosa para a resolução de problemas ambientais, de saúde e de segurança química.

Merritt [76] reforça o que foi colocado com relação ao ensino da química dizendo que os novos graduandos em química devem ter o conhecimento de base mas que devem ser treinados para aplicá-lo a situações problemáticas reais. Devem ser preparados para métodos rápidos de síntese, técnicas analíticas de resposta rápida, tecnologias com automação, critérios de validação, etc.

Produção mais limpa (PML) e prevenção à poluição (P2) representam um aspecto operacional de gerenciamento envolvendo educação e treinamento, conhecimentos específicos e tecnológicos da área de aplicação e necessitam integração com diversas outras áreas. Exigem mudança de cultura, trabalhos em equipe, descentralização do conhecimento e tomada de decisão. Os estudantes de química devem ser preparados para isto.

## **2 METODOLOGIA**

O presente trabalho pretendeu desenvolver uma maior consciência ambiental em estudantes do curso técnico de química através da implantação de um programa de produção mais limpa (PML) e prevenção à poluição (P2). A metodologia de realização está apresentada a seguir.

### **2.1 LOCAL DE REALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA POPULAÇÃO ALVO**

O trabalho foi desenvolvido nas dependências da Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha em Novo Hamburgo, no laboratório de análise química (figura 2) com turmas de alunos do 3º ano (diurno) do curso técnico em química, de nível médio, na disciplina de análise química. Na escola existiam quatro turmas de química no 3º ano no diurno. Foram escolhidas somente três e denominadas turma A, turma B, turma C. Estas foram as escolhidas porque nestas turmas o professor responsável por esta pesquisa foi também responsável pela disciplina de análise química, o que facilitou o acompanhamento das atividades.



Figura 2: Laboratório de Análise Química do 3º ano do curso técnico em química da Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha

O projeto foi realizado com 69 alunos (média de 23 em cada turma), com idade de 16-17 anos. Eram oriundos da região do Vale do Rio dos Sinos e Grande Porto Alegre, conforme a coleta de dados realizada com o instrumento do anexo 1.

## 2.2 PLANO DE TRABALHO

Na disciplina de análise química da Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha, a proteção do meio ambiente foi priorizada através da implantação do Programa de Produção Mais Limpa (PML) e prevenção de poluição (P2), com aplicação de boas práticas de gerenciamento empresarial, para turmas de 3º ano do curso técnico de química. Todas as 3 turmas seguiram o mesmo programa de ensino da disciplina apenas com um pequeno diferencial. As turmas A e B receberam informações e orientações específicas sobre produção mais limpa, tecnologias limpas, prevenção à poluição, minimização de resíduos, incentivos à reciclagem e boas práticas de gerenciamento empresarial.

Estas 2 turmas reduziram a concentração dos reagentes. Estes alunos também foram orientados e incentivados a minimizar a quantidade de insumos (água potável, água deionizada, papel toalha e detergente), reutilizar e reciclar resíduos e água, constantemente.

A turma C usou as concentrações e as quantidades de reagentes e insumos que já

vinham sendo usados há vários anos. Esta turma realizou os trabalhos de laboratório como sempre foi realizado e da mesma forma que outro professor da disciplina desenvolvia o conteúdo de análise química com a outra turma, que não participou deste projeto.

A turma C foi a turma “controle”.

As três turmas realizaram o levantamento de dados sobre reagentes e insumos usados e resíduos produzidos durante o período letivo.

A seguir temos a tabela 1 que mostra o plano de forma geral:

Tabela 1. Plano geral de experimento sobre aplicação de PML e P2 em Análise Química na Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha em 2001

Turma Ação	Turma A	Turma B	Turma C
Informações e orientações específicas sobre produção mais limpa e prevenção de poluição	Recebeu	Recebeu	Não recebeu
Redução de concentração de reagentes e redução dos reagentes, insumos e resíduos, estudos para reutilização, reciclagem e prevenção à poluição e produção mais limpa	Realizou	Realizou	Não realizou
Levantamento de dados referentes a reagentes e insumos usados e resíduos produzidos	Realizou	Realizou	Realizou

O projeto obedeceu as seguintes etapas:

1. Comprometimento do professor;
2. Definição da equipe;
3. Estabelecimento de metas;
4. Identificação de oportunidades para aplicação na disciplina;
5. Definição de variáveis independentes e dependentes (indicadores de desempenho);
6. Elaboração de cronograma de atividades;
7. Disseminação de informações sobre prevenção á poluição (P2), produção mais

limpa, minimização de resíduos, tecnologias limpas e bom gerenciamento empresarial.

8. Estabelecimento das medidas a serem tomadas, em função de viabilidade técnica, econômica e ambiental;

9. Implementação das medidas escolhidas;

10. Levantamento de dados;

11. Avaliação dos resultados;

12. Manutenção do programa.

### **2.3 COMPROMETIMENTO DO PROFESSOR**

A disciplina de Análise Química se comprometeu a reduzir ou eliminar o uso de substâncias tóxicas, a emissão de poluentes e a geração de todos os tipos de resíduos, principalmente os perigosos. Além disto, existiu preocupação em minimizar qualquer impacto indesejável no ar, água, solo, quando o uso de substâncias tóxicas, a geração de resíduos sólidos ou a emissão de poluentes tóxicos não pudessem ser evitados.

A questão ambiental passou a fazer parte do ato de pensar do professor. Fez parte do processo decisório relacionado com a concepção de qual metodologia de análise deveria ser adotada e o que esta metodologia poderia gerar como efluente ou como poderia ser mais limpa e menos geradora de poluição ambiental.

### **2.4 EQUIPE DE TRABALHO**

A equipe foi formada por um professor, por um auxiliar de ensino e pelos alunos das turmas A, B, C, conforme a tabela 2.



Tabela 2. Equipe para implantação do programa de PML e P2 em Análise Química na Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha -2001

Membro da equipe	Cargo	Responsabilidade
Dalva Inês de Souza	Professor	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Planejamento de PML e P2, desenvolvimento, supervisão do programa, decisão final</li> <li>- Divulgação aos alunos, controle de quantidades e custos, implantação, monitoramento</li> <li>- Avaliação e manutenção</li> </ul>
Cláudia Muller	Auxiliar de ensino	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Realização de testes e análise, preparo de amostras para as determinações de aula</li> <li>- Levantamento do % de erros nas determinações realizadas, organização da documentação</li> <li>- Manutenção do laboratório e do programa</li> </ul>
Turmas A,B,C – 69 alunos	Alunos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Execução das práticas</li> <li>- Levantamento de dados</li> </ul>

## 2.5 METAS

Pretendeu-se com a implantação do programa de produção mais limpa e prevenção à poluição, usando um método modificado, atingir a redução de 50% de reagentes e resíduos destinados a ETE e 30% de insumos durante 1 ano letivo em relação ao método tradicional usado nas aulas.

O nível de 50% para minimização de reagentes e resíduos foi escolhido, porque concentrações muito mais baixas nos reagentes poderiam levar a um aumento considerável de erro padrão nos resultados obtidos e porque os alunos não tinham muita experiência.

Com relação aos insumos, foi escolhido o nível de 30% para diminuir porque se reduziu o volume das soluções de 10-15% e o restante de economia esperada foi em relação à conscientização dos alunos.

## **2.6 IDENTIFICAÇÃO DE OPORTUNIDADES PARA APLICAÇÃO E PARA A ESCOLHA DAS MEDIDAS A SEREM TOMADAS**

A disciplina de Análise Química é dividida em 2 partes. Inicialmente estuda-se a análise qualitativa de cátions usando processos de análise semimicro. A segunda parte trata da análise quantitativa clássica e envolve análises gravimétricas (gravimetria) e análises volumétricas ( titulometria).

A análise qualitativa é realizada em escala de semi-microanálise (trabalha-se com gotas), por isto foi usada apenas para a disseminação inicial de informações e introdução dos conceitos ambientais envolvidos neste estudo.

O foco principal deste estudo foi a análise quantitativa por métodos tradicionais (gravimetria e volumetria), porque usa maior quantidade de reagentes e insumos e seu estudo ocupa a maior parte do ano letivo.

## **2.7 DETERMINAÇÃO DAS VARIÁVEIS (INDICADORES DE DESEMPENHO)**

Foi considerada como variável independente a implantação de um programa de produção mais limpa (PML) e prevenção à poluição (P2). Foram utilizadas como variáveis dependentes na implementação do programa os indicadores:

- ◆ Análise estatística dos resultados das determinações executadas;
- ◆ Quantidade de reagentes e insumos (kg/ano);
- ◆ Consumo de água (l/ano);
- ◆ Consumo de água deionizada (l/ano);
- ◆ Quantidade de resíduos descartados para a estação de tratamento de efluentes (l/ano);
- ◆ Custo total de reagentes e insumos gastos no ano letivo (R\$);
- ◆ Postura dos alunos com relação ao meio ambiente, aspecto qualitativo, com relação a atitudes, preocupações com resíduos, perguntas, sugestões, envolvimento nas aulas, participação em cursos extra-classe que se relacionem com aspectos ambientais de minimização de poluição e prevenção de poluição.

A operacionalização das variáveis foi realizada por métodos simples e está descrita no levantamento de dados (item 2.10).

## **2.8 DISSEMINAÇÃO DOS CONTEÚDOS ESPECÍFICOS RELATIVOS A PROGRAMA DE PRODUÇÃO MAIS LIMPA E PREVENÇÃO À POLUIÇÃO**

A disseminação dos conteúdos do programa de prevenção de poluição foi realizada através da inclusão dos conceitos de produção mais limpa, tecnologias limpas minimização de resíduos e prevenção de poluição no decorrer das aulas para as turmas A e B..

Os conceitos específicos relativos ao programa foram divulgados para as turmas A e B na forma de aulas, palestras, estudos e discussão de textos. Colocou-se que além dos objetivos específicos da disciplina também seriam objetivos a diminuição de reagentes, insumos e resíduos, bem como a prevenção à poluição, reutilização e reciclagem de resíduos. Explicou-se que haveria um levantamento de dados nas aulas práticas de análise química e que este seria realizado através da medida do consumo de reagentes e insumos e da produção de resíduos e que os alunos seriam orientados sobre os procedimentos a serem adotados. Foram incentivados a participar ativamente e alertados de sua responsabilidade sobre os possíveis impactos ao meio ambiente e ao próprio homem.

Para a turma C apenas informou-se que haveria um levantamento de dados sobre consumo de reagentes e insumos e produção de resíduos, já que nunca tinha sido realizado e que seria realizada uma avaliação dos resultados levantados durante o ano letivo com posterior divulgação.

Inicialmente, propôs-se um levantamento de reagentes, insumos e resíduos durante as aulas de análise qualitativa para as 3 turmas, apenas para que a metodologia de medição ficasse conhecida. Não houve um controle sistemático. Foi um tipo de pré-experimento.

Após o desenvolvimento das aulas práticas de Análise Qualitativa de cátions foi realizado um seminário para as 3 turmas. As turmas foram divididas em grupos e cada grupo recebeu um resíduo de aula produzido na aplicação da marcha analítica de identificação de determinado cátion metálico para estudo teórico de aspectos a serem desenvolvidos. Traba-

lharam com fichas de segurança de produtos químicos, relacionando toxicidade, segurança, problemas ambientais, manipulação, etc., com o resíduo da identificação do cátion em estudo. Em função da toxicidade e problemas ambientais dos reagentes usados em aula o seminário também abordou-se a possibilidade de substituição de reagentes tóxicos por outros menos nocivos, diminuição de quantidades e/ou novos métodos de identificação do cátion em estudo, de forma teórica. Seguiram os parâmetros do anexo 2.

Durante o período de pesquisa para a apresentação do seminário as turmas A e B foram constantemente lembradas sobre os aspectos de produção mais limpa, tecnologia limpas, prevenção à poluição, minimização de resíduos.

Ao iniciar a análise quantitativa, foco deste trabalho, as turmas A e B trabalharam com textos, específicos sobre minimização de resíduos em laboratórios. Foi realizada uma discussão sobre o assunto onde cada turma fez uma síntese dos aspectos relacionados aos textos.

A partir daí as 3 turmas realizaram um levantamento de dados efetivo supervisionado pelo professor e auxiliar. A cada início de aula prática as turmas A e B receberam orientações sobre produção mais limpa, minimização de resíduos, prevenção à poluição e boas práticas de gerenciamento .

## **2.9 MEDIDAS ESCOLHIDAS E IMPLANTADAS PARA PRODUÇÃO MAIS LIMPA E PREVENÇÃO À POLUIÇÃO EM ANÁLISE QUÍMICA**

As atividades foram escolhidas em função de viabilidade técnica, econômica e ambiental.

Na avaliação econômica optou-se por medidas que não envolvessem investimento inicial, como a minimização de reagentes e insumos, e práticas de baixo custo como as manutenções preventivas, reutilização e reciclagem. [77]

As medidas escolhidas foram divididas em dois grupos: (1) aquelas que visavam o uso eficiente dos reagentes, insumos e recursos como água e gás a fim de reduzir perdas e melhor utilizá-los e (2) aquelas que visavam o manejo responsável dos resíduos com redução, reutilização, reciclagem e em último caso, disposição dos resíduos de forma am-

bientalmente correta, o que, na realidade, não faz parte de prevenção de poluição, mas deve ser cumprida, quando surgem resíduos que não podem ser aproveitados de alguma forma. [77]

Temos, então, uma relação de medidas que foram implementadas, divididas nos dois grupos.

1º grupo de medidas - Medidas que visavam o uso eficiente de matérias primas reagentes e insumos para reduzir perdas, melhor utilizar e não produzir resíduos ou minimizá-los:

- ◆ Realização de um balanço dos reagentes e equipamentos disponíveis no laboratório. Só permaneceram aqueles reagentes e equipamentos que realmente eram usados, aqueles que não tinham utilidade prevista ou ficaram à disposição em uma ‘bolsa de resíduos’(um armário no laboratório para colocar os resíduos passíveis de reutilização ou reciclagem incluindo uma listagem de tudo) ou foram levados à uma empresa de acondicionamento de resíduos industriais;

- ◆ Incentivo e encorajamento dos estudantes para pesquisar métodos de minimização de resíduos, reutilização e reciclagem;

- ◆ Elaboração de um novo modelo de relatório para as análises realizadas pelos alunos. Este, incluiu aspectos ambientais e de segurança, conforme pode ser observado no anexo 3;

- ◆ Execução de manutenção preventiva das tubulações, válvulas e conexões de gás e água, duas vezes ao ano. Equipamentos como balanças, estufa, deionizador também tiveram manutenção preventiva conforme recomendações dos manuais;

- ◆ Monitoramento das perdas em tubulações (água e gás), através de identificação visual das áreas com problemas, com auxílio dos alunos. Por exemplo, eles mesmos faziam espuma de sabão para testar vazamento de gás orientados pelo professor e auxiliar (figura 3);

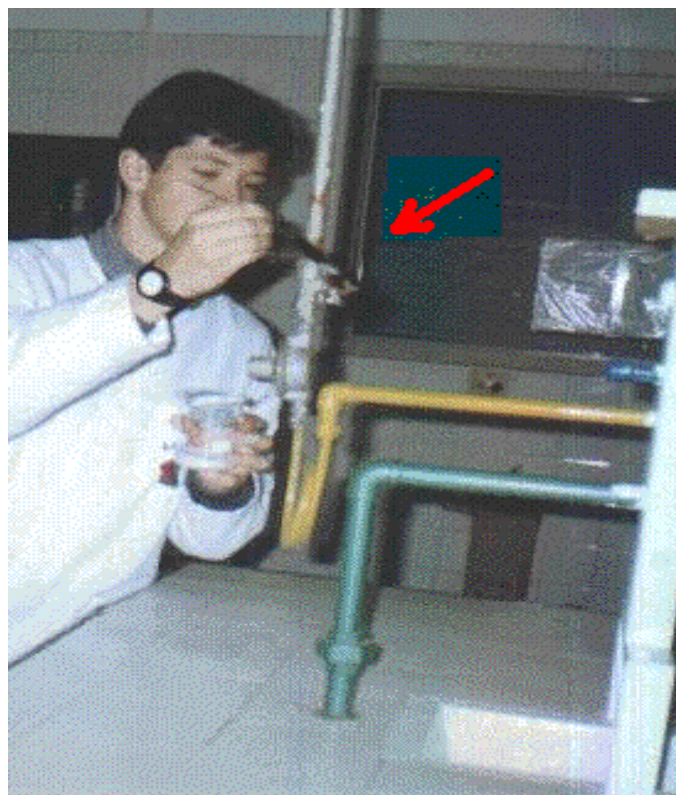


Figura 3: Aluno fazendo verificação de vazamento de gás na tubulação

- ◆ Prevenção de derrames acidentais de produtos químicos no laboratório a cada aula;
- ◆ Conservação dos manuais de manutenção dos equipamentos em lugar acessível e conhecido;
- ◆ Verificação do cumprimento e da eficácia das manutenções;
- ◆ Na gravimetria, o uso de somente 50% da quantidade das amostras e reagentes. Na volumetria a redução da quantidades de amostra e das concentrações das soluções em 50% e também redução do volume das soluções, por exemplo de 250ml para 200 ou 100ml;
- ◆ Redução da água residuária, com orientação aos alunos sobre o desperdício de água e incentivo para usar o mínimo possível, a cada aula;
- ◆ Medição da quantidade de reagentes e insumos ao iniciar e finalizar as aulas;
- ◆ Eliminação total do uso de solução sulfocrômica ou nitrocrômica para a lavagem de vidrarias. Minimização do uso de KOH alcoólico. Uso de detergente para laboratório em quantidades mínimas. Para o caso de material muito engordurado algum solvente como por

exemplo acetona ou álcool foi utilizado, pois estes podem ser reutilizados ou destilados.

## 2º grupo de medidas - Manejo responsável dos resíduos

- ◆ Informação sobre os perigos dos produtos e como resolver algum tipo de problema [78, 79, 80] através do uso de fichas de segurança dos produtos, obtidas de fornecedores e órgãos competentes, a cada aula. Foram tomadas precauções de segurança e uso de EPIs obrigatórios;

- ◆ Exame de todas as técnicas de gravimetria e volumetria em função de reagentes tóxicos, nocivos, resíduos, insumos, com vista a possibilidade de diminuição, substituição, reciclagem, reutilização, etc.;

- ◆ Testes e aplicação de novas técnicas de análises enfocando a reciclagem;

- ◆ Elaboração de um rótulo apropriado para os resíduos;

- ◆ Identificação dos resíduos nas práticas visando classificá-los de acordo com a sua natureza e toxicidade, para reutilização e reciclagem, etc;

- ◆ Determinação de coletores identificados com rótulo (anexo 4) para cada diferente grupo de resíduo, em cada aula;

- ◆ Separação dos resíduos perigosos de outros não perigosos, para evitar contaminação;

- ◆ Separação dos diferentes tipos de resíduos - por exemplo, desde a análise qualitativa, os resíduos foram separados, acondicionados e identificados por tipo de cátion, de preferência só um tipo (resíduos de cromo, níquel, chumbo, etc), para viabilizar uma possível reutilização ou reciclagem. Procedimento similar também foi realizado para resíduos contendo compostos de metais preciosos como, por exemplo, a prata. Na determinação de cloretos por Mohr, por exemplo, separou-se diferentes resíduos: (a) da amostra e restos da solução padrão de NaCl, (b) resíduos da ambientação da bureta com AgNO<sub>3</sub> e restos da solução padrão de AgNO<sub>3</sub> (c) resíduos dos erlenmeyers, contendo AgCl, K<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub>, KNO<sub>3</sub> e Ag<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub>. Os resíduos *a* e *b* foram classificados como reutilizáveis e os resíduos *c* como recicláveis de prata e K<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub>. Estes tipos de resíduos não foram para a estação de tratamento de efluentes (ETE). Os resíduos das 3 turmas e de outras da escola foram reunidos para tornar economicamente viável alguma reciclagem.

- ◆ Determinação de lugar apropriado para os diferentes tipos de resíduos nos diferentes tipos de coletores;

- ◆ Criação de uma “bolsa de resíduos”, com o objetivo de fornecer compostos não

utilizados e soluções residuais como reagentes ou amostras para práticas da própria disciplina ou para outras disciplinas do curso ou outros cursos da escola;

◆ Adequação das condições para reciclar a água deionizada usada na lavagem das vidrarias, deionizando-a novamente. Para isto, foi usada uma bomba de limpador de pára-brisas de automóvel de 12 V (figura 4) com objetivo de auxiliar na transferência da água deionizada usada recolhida em “balde” para o deionizador;



Figura 4: Bomba d’água para transferência da água residuária da lavagem da vidraria para o deionizador

◆ Reutilização das embalagens dos reagentes para as aulas, por exemplo, frascos de vidro âmbar de ácidos concentrados foram lavados e reutilizados para colocar soluções que não atacam o vidro e que se alteram pela luz; frascos de polietileno usados foram utilizados para as soluções que atacam o vidro, tipo bases e ácidos diluídos. Frascos vazios com resíduos de reagentes que não tiveram utilidade foram lavados, para evitar perigos, e enviados para a coleta. A água da lavagem foi para a ETE;

◆ Envio dos resíduos, que não puderam ser utilizados ou colocados na bolsa de re-



síduos, para a ETE. O envio foi realizado pelos próprios alunos para maior conscientização ambiental.

## **2.10 LEVANTAMENTO DE DADOS SOBRE REAGENTES, INSUMOS E RESÍDUOS DAS AULAS**

As aulas de laboratório de análise química foram realizadas, em cada turma, por 7 grupos de quatro alunos, no máximo, que foram subdivididos em sub-grupos de 1 ou 2 alunos, resultando 12 a 13 sub-grupos de alunos por turma.

Em cada aula foi designado um grupo de 4 alunos para realizar a manutenção do laboratório, o que incluiu limpeza e organização do laboratório ao final da aula e levantamento dos dados quantitativos de reagentes, insumos e resíduos, com a orientação do professor ou do auxiliar de ensino. Os dados obtidos foram colocados por eles em planilha, conforme anexo 5.

Foram considerados como insumos a água potável para lavagem de vidraria, a água deionizada para a lavagem da vidraria e preparo de soluções, o detergente usado para a lavagem do material e o papel toalha para secagem das mãos e da parte externa da vidraria.

Resíduos de produtos químicos, em análise química na Liberato, foram classificados em dois grandes grupos, aqueles destinados para a ETE (descartáveis), pois não foi possível a reutilização e aqueles que podiam ser reutilizados ou reciclados (reutilizáveis ou recicláveis). Os alunos separavam os resíduos durante os trabalhos em béquer identificado na própria bancada e depois os colocavam em recipiente do laboratório para a turma (todos os resíduos separados por todos grupos), conforme figuras 5 e 6.



Figura 5: Separação dos resíduos gerados na própria bancada



Figura 6: Disposição dos resíduos de toda a turma em frascos e baldes identificados

Ao final de cada aula os descartáveis foram transportados para a ETE (figura 7) em baldes apropriados pelos alunos do grupo da manutenção. Os resíduos reutilizáveis ou recicláveis foram acondicionados e destinados à bolsa de resíduos ou foram acondicionados apropriadamente aguardando providências para a reciclagem.



Figura 7: Estação de tratamento de efluentes da Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha

Para a medida da água consumida, as pias foram fechadas. Toda a água potável gasta foi depositada nas pias e medida no final de cada aula (figura 8). O volume de água potável gasto foi responsabilidade do grupo da manutenção e realizado através de medidas de altura da água nas pias, largura e comprimento das pias. Se as pias enchiam durante as aulas, o grupo da manutenção fazia as medições, descartava a água e fechava as pias novamente. Toda a água potável que entrava para a lavagem de vidraria na aula era a água residual das pias.





Figura8: Alunos nas pias medindo a água residuária da lavagem da vidraria

Com relação a água deionizada, os alunos recebiam dois *containers* cilíndricos completamente cheios. Ao final da aula verificavam a altura de água que foi consumida. Conhecendo as medidas dos *containers* calculavam o volume de água que foi gasto (figura 9). Parte da água deionizada que entrava na aula era destinada à lavagem da vidraria e parte ao preparo de soluções. A água deionizada oriunda da lavagem do material era recolhida em "balde específico" para nova deionização.

A quantidade de detergente para a limpeza foi medida no início e fim da aula. Obtinha-se, então o volume efetivamente gasto. Todo detergente que entrava para a lavagem era também o que saía na água residuária das pias.

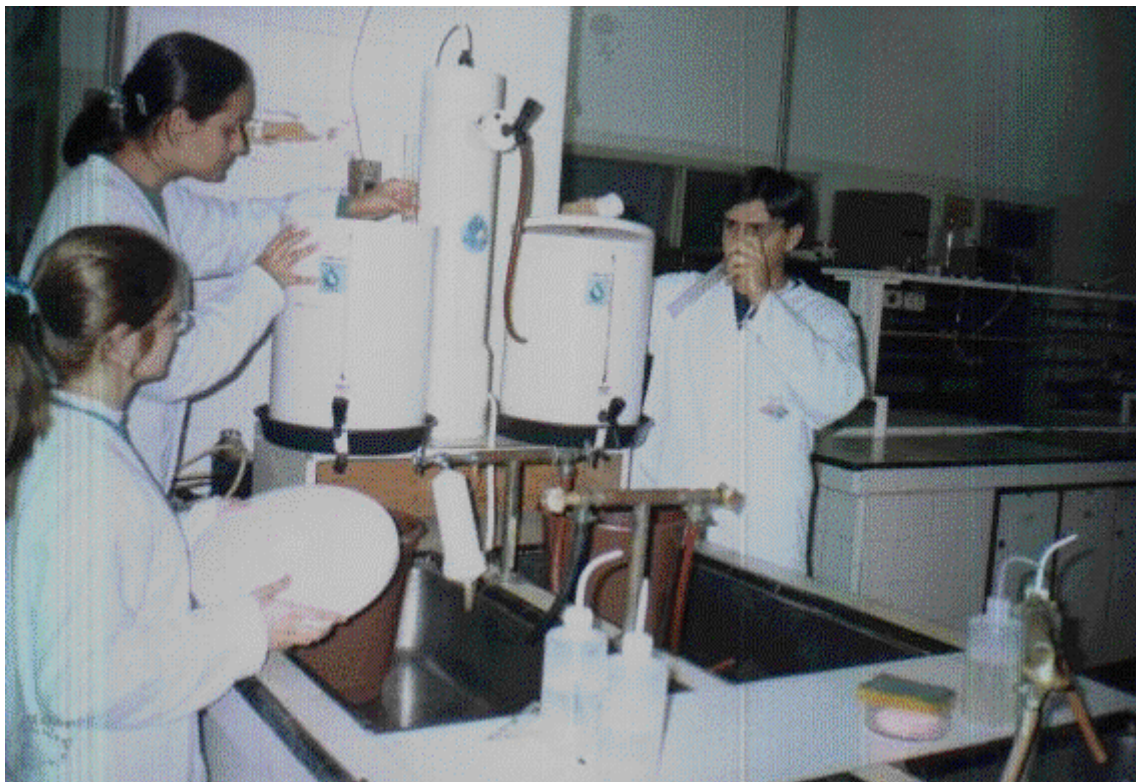


Figura 9: Alunos fazendo a medição da água deionizada

Para a avaliação da quantidade de papel toalha, o grupo da manutenção pesava o maço de papel todo e uma só folha no início e pesava o que sobrou no final da aula. Determinava, então, a massa de papel e o número de folhas gastas na aula. O número de folhas dá aos alunos uma idéia melhor dos gastos. Todo o papel usado na aula foi descartado em recipiente (balde para lixo) próprio.

Os resíduos contendo compostos químicos das análises, por exemplo dos erlenmeyers após as titulações, eram colocados no recipiente dos descartáveis e o volume era medido ao final das aulas.

A quantidade de reagentes gasta em cada aula foi calculada estequiometricamente, conforme as quantidades e concentrações que as técnicas indicavam. Os alunos calcularam a quantidade total gasta na turma, considerando todos os sub-grupos de trabalho e que as análises foram realizadas em triplicata.

Por exemplo, se a técnica utilizava 50 mL de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  1 M este valor foi multiplicado por 3 (triplicata) e pelo nº de sub-grupos, por exemplo 13, resultando 1950 ml de ácido

sulfúrico 1 M (50ml x 3 triplicata x 13 sub-grupos). A partir daí o grupo da manutenção calculava a quantidade de reagente para análise concentrado (p.a.) que foi usado para o preparo de 1950 ml de solução 1 M. Considerando-se que a concentração do reagente p.a é 95% em massa e que a densidade é 1,84 chegava à conclusão de que foram gastos 109,3 ml de ácido sulfúrico p.a.

## **2.11 LEVANTAMENTO DOS RESULTADOS ANALÍTICOS DAS DETERMINAÇÕES MONITORADAS**

As amostras recebidas pelos alunos foram preparadas e distribuídas pelo auxiliar de ensino, todas a partir de reagentes p.a, com alto teor de pureza. Podiam ser sólidas ou em solução. Todas tinham um valor referencial que chamamos teórico, conforme o laudo do fornecedor e/ou um valor referencial determinado na prática pelo auxiliar de ensino nas mesmas condições de laboratório a que os alunos estavam sujeitos. Cada sub-grupo, a cada aula, recebeu uma amostra para realizar a determinação, aleatoriamente. As amostras repetidas, com diferentes concentrações, foram numeradas e identificadas por código. Por exemplo, em uma mesma turma tínhamos 7 amostras de NaOH 1M (denominadas A, B, C, D, E, F, G) e 6 amostras 0,5 M (denominadas H, I, J, L, M, N). Todas as 13 amostras foram utilizadas pelas 3 turmas envolvidas nesta pesquisa, apenas com códigos diferentes. Os alunos realizaram a análise em triplicata e entregaram relatório da aula, com o resultado (média das 3 replicatas), conforme anexo 3. Os resultados analíticos foram colocados em planilha (anexo 6) para posterior avaliação.

## **2.12 LEVANTAMENTO DE DADOS ATRAVÉS DE ASPECTOS QUALITATIVOS**

A conscientização dos alunos em relação aos cuidados com o meio ambiente foi avaliada através de suas atitudes, cuidados, atenção aos avisos de separação de resíduos, preocupações, pelos questionamentos a respeito de determinadas técnicas, sugestões, participação em cursos extra-classe que tinham relação com o meio ambiente, interesse em realizar pesquisas na área. Também foi aplicado um levantamento de dados sobre os alunos e sua postura frente à produção mais limpa, resíduos, prevenção de poluição, conforme o anexo 1.

## 2.13 MODIFICAÇÕES DAS TÉCNICAS ANALÍTICAS

A produção mais limpa e a prevenção de poluição visam a redução contínua da poluição e do impacto ambiental através da redução de recursos, reutilização e reciclagem. Prevenção de poluição tem como objetivos evitar ou minimizar a produção de poluentes e resíduos problemáticos (redução de volume e toxicidade) e uma das técnicas é a minimização de resíduos que inclui redução, reutilização e reciclagem.

Considerando-se estes aspectos fundamentais, as técnicas analíticas executadas em aula foram alteradas para as turmas A e B. De maneira geral, houve a redução de 50% nas amostras usadas e na concentração de soluções, bem como redução na quantidade de soluções, separação adequada dos resíduos, reutilização e reciclagem em alguns casos. Também temos propostas de substituição de determinadas técnicas por outras menos nocivas ao homem e ao meio ambiente, algumas ainda em teste. A seguir seguem algumas técnicas realizadas tradicionalmente há vários anos em Análise Química [81, 82, 83, 84], as modificações executadas e as propostas de alteração.

Em todo método modificado, tanto gravimétrico como volumétrico a água deionizada residuária da lavagem de material foi recolhida em recipiente apropriado (balde de 13 litros) para posterior reciclagem por deionização.

No método modificado toda a sobra de soluções preparadas, inclusive aquelas um pouco diluída pela ambientação, e sobras de solução padrão foram misturadas, guardadas e ficaram disponíveis na bolsa de resíduos, apenas mais diluídas. Basta uma padronização para determinar a real concentração. Com este procedimento estes resíduos podem ser reutilizados novamente. Na realidade, muitas vezes as quantidades não são muito grandes, mas o objetivo da conscientização de não desperdiçar é que é alcançado. Não desperdiçando há menos gasto no tratamento e proteção do meio ambiente. O termo ambientação está relacionado ao fato de que a bureta está limpa, mas molhada com água deionizada. É necessário que o aluno passe um pouco da solução padrão preparada pela bureta e despreze esta quantidade, a fim de não diluir a solução padrão que ocupará a bureta. Esta quantidade diluída, na técnica tradicional, vai para a estação de tratamento de efluentes, na modificada é reutilizada.

Na gravimetria por precipitação química realizou-se 2 análises: ferro e níquel.

### 2.13.1 Determinação de ferro por gravimetria

A determinação de ferro foi realizada por processo gravimétrico de precipitação com hidróxido de amônio, filtração, lavagem com solução de nitrato de amônio e posterior calcinação, obtendo-se óxido de ferro III anidro [84]. Na tabela 3 temos um comparativo da análise tradicional com a análise modificada pela redução de 50% de amostra e reagentes.

Tabela 3. Comparação da técnica de determinação de ferro, por gravimetria precipitação química e calcinação, método tradicional em uso e método modificado em Análise Química na Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha – 2001

Reagentes	Método tradicional	Método Modificado
Amostra de sal de ferro II	0,8 g	0,4g
Solução de NH <sub>4</sub> OH 1:1	25 ml	12,5 ml
HNO <sub>3</sub> concentrado	3 ml	1,5 ml
Solução de NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> 1%	300 ml	150 ml
Ferricianeto de potássio 1%	0,2 ml	0,1 ml
Solução de AgNO <sub>3</sub> 0,1 M	0,2 ml	0,1 ml
Resíduo de óxido de ferro III da calcinação	descarte	bolsa de resíduos – uso na própria aula de determinação de ferro
Água potável com detergente residuária da lavagem da vidraria	descarte na pia	descarte na pia
Papel toalha usado	descarte	descarte
Água deionizada residuária da lavagem da vidraria	descarte na pia	recolhimento para reciclagem por deionização

Uma outra proposta, ainda em teste, substituindo a determinação de ferro é determinar o teor de magnésio do leite de magnésia, de uso cotidiano [85] por precipitação com hidróxido, filtração, lavagem e calcinação a óxido de magnésio. A inovação que se propõe é que o precipitado de óxido de magnésio seja guardado e utilizado para determinação de magnésio por complexometria com EDTA (ácido etilenodiaminotetraacético) [78,79,80,81]. Isto é interessante pois utiliza o resíduo de uma técnica como amostra em outra. Na complexometria com EDTA o magnésio forma um complexo solúvel em pH 10,



na presença de amônia. A proposta é que após a determinação de magnésio por complexiometria, a amônia seja eliminada e o pH seja elevado a 12,5-13 com NaOH. Neste pH (sem amônia) o magnésio precipita [81, 82] na forma de hidróxido de magnésio, filtra-se e, teremos novamente hidróxido de magnésio, que poderá ser usado em nova análise gravimétrica.

### 2.13.2 Determinação de níquel por gravimetria

A determinação de níquel foi realizada por precipitação química com dimetilglioxima em meio de hidróxido de amônio [81, 82,]. Para as turmas A e B reduziu-se amostras e reagentes em 50%, conforme mostra a tabela 4.

Tabela 4. Comparação da determinação de níquel por precipitação com dimetilglioxima em meio de hidróxido de amônio, método tradicional em uso e método modificado em Análise Química na Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha - 2001

	Método tradicional	Método modificado
Amostra sal de níquel II	0,3 g	0,15 g
NH <sub>4</sub> OH 1:1	16 ml	8 ml
HCl 1:1	5 ml	2,5 ml
Dimetilglioxima 1% alcoólica	33 ml	16,5 ml
AgNO <sub>3</sub> 0,01M	2 gotas	2 gotas
Precipitado de níquel dimetilglioxima ao final da determinação	retirado do cadinho através de dissolução com HCl e descarte para a ETE	retirado do cadinho através de dissolução com HCl e acondicionamento para utilização em análise de níquel por gravimetria ou complexiometria (em teste)
Água potável com detergente residuária da lavagem da vidraria	descarte na pia	descarte na pia
Água deionizada residuária da lavagem da vidraria	descarte na pia	recolhida para reciclagem por deionização
Papel toalha usado	descarte	descarte

### 2.13.3 Determinação de cloretos através do Método de Mohr

Na análise volumétrica a determinação de cloretos por método de Mohr está baseada em uma precipitação fracionada. O método consiste na titulação de uma solução neutra de cloretos com solução de  $\text{AgNO}_3$ , em presença de cromato de potássio como indicador. A solução de  $\text{AgNO}_3$  é preparada e padronizada anteriormente com solução padrão de  $\text{NaCl}$  através do Método de Mohr. A seguir temos a figura 10 que mostra um diagrama do método tradicional em uso da determinação de cloretos pelo Método de Mohr [81, 82, 83] e a figura 11 que mostra o método modificado.

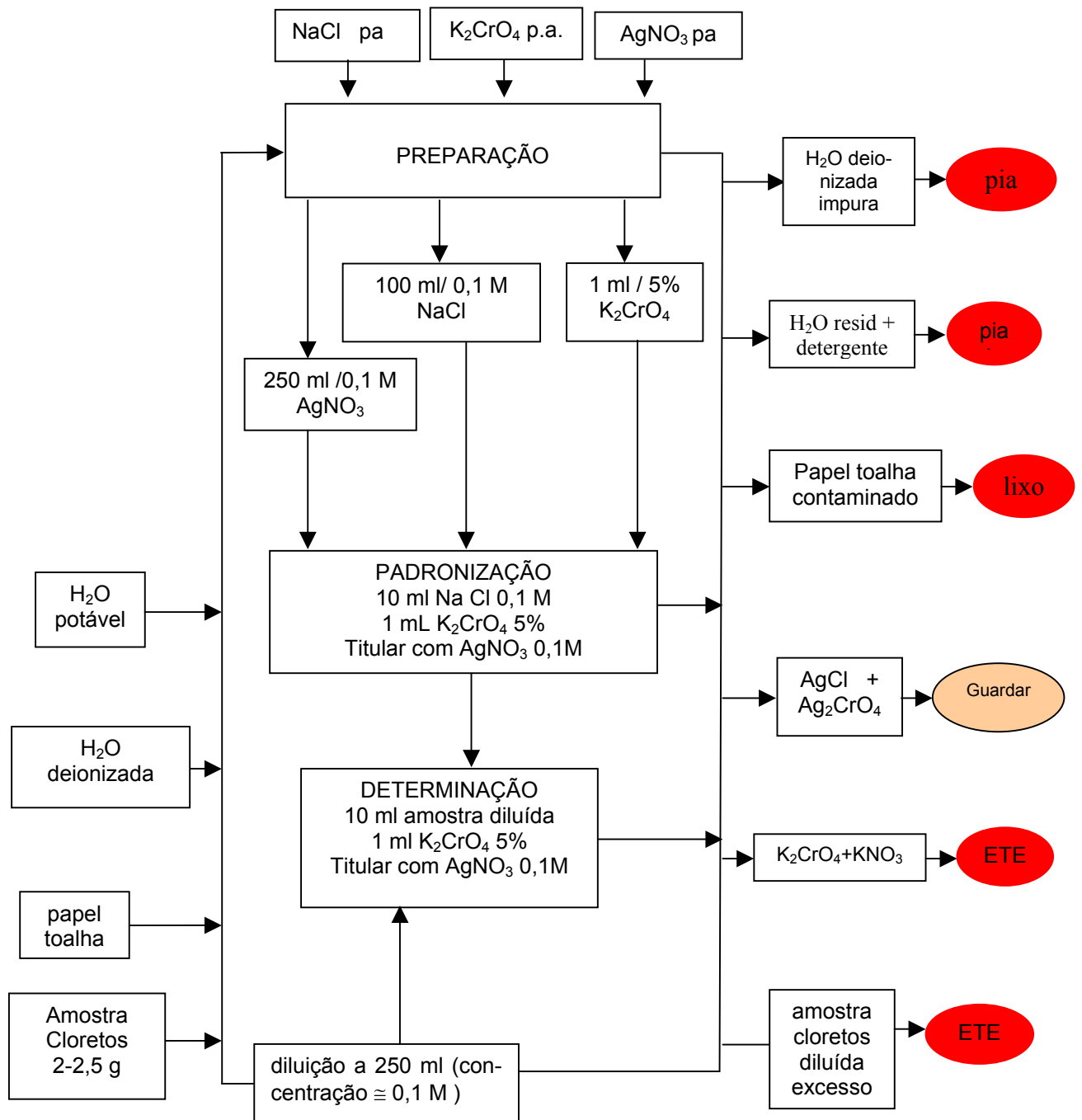


Figura 10: Diagrama de determinação de cloretos pelo método de Mohr tradicional usado em Análise Química na Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha – 2001

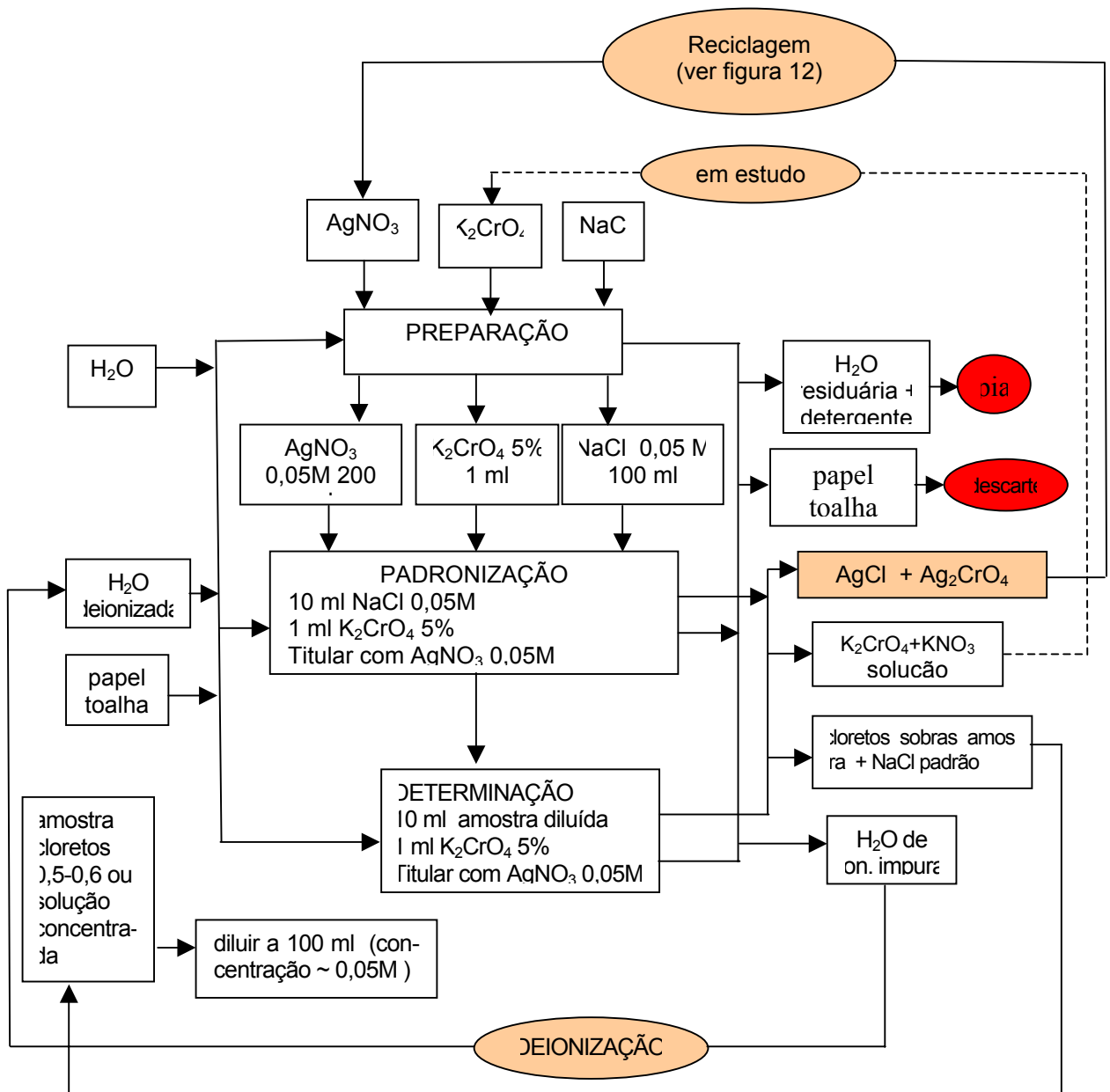


Figura 11: Diagrama de determinação de cloretos pelo método de Mohr modificado em Análise Química na Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha - 2001

A figura 12 mostra o diagrama da reciclagem de nitrato de prata a partir do precipitado da determinação de cloretos pelo método de Mohr .

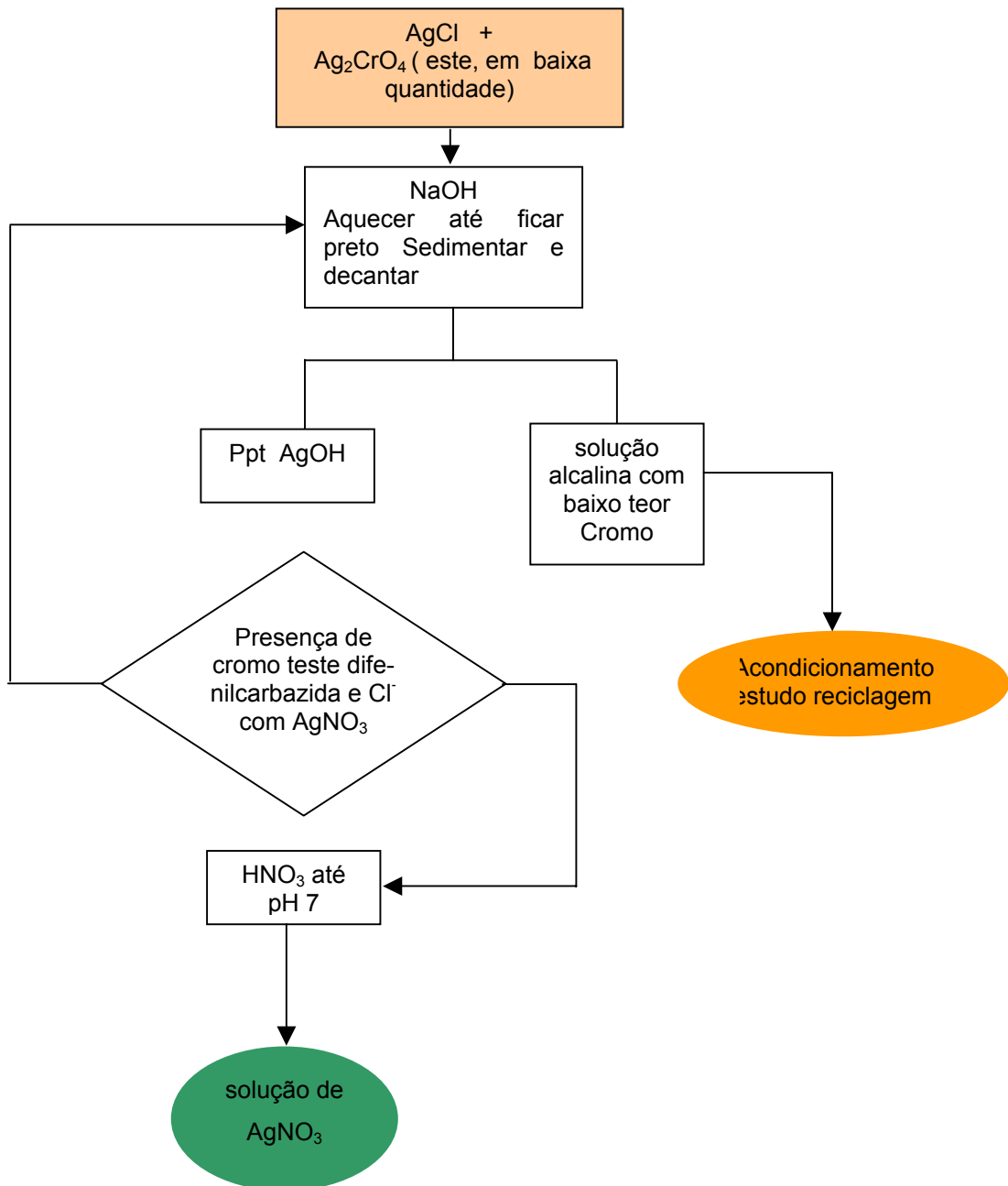


Figura 12: Diagrama da reciclagem de  $\text{AgNO}_3$  a partir do precipitado da determinação de cloretos por Método de Mohr método modificado em Análise Química na Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha - 2001

A tabela 5 faz uma comparação evidenciando diferenças entre o método tradicional e o método modificado de determinação de cloretos pelo Método de Mohr.

Tabela 5. Comparação entre o método tradicional e o método modificado de determinação de cloretos pelo método de Mohr em Análise Química na Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha – 2001

	Método tradicional	Método modificado
amostra de cloretos	2-2,5g /250 ml ( $\cong$ 0,1M )	0,3 - 0,5 g/100 ml ou solução concentrada de cloretos e diluição até 100 ml para $\cong$ 0,05 M (realização de análise prévia para verificar a concentração aproximada da amostra original e decidir a diluição)
Solução de AgNO <sub>3</sub>	0,1M / 250 ml	0,05M / 200 ml
Solução padrão de NaCl	0,1M / 250 ml	0,05M / 100 ml
Solução de K <sub>2</sub> CrO <sub>4</sub> 5%	1 ml	1 ml
Resíduo sólido dos erlenmeyers precipitado de AgCl + Ag <sub>2</sub> CrO <sub>4</sub>	acondicionamento especial	reciclagem de AgNO <sub>3</sub> estudo para reciclar composto com cromo e usar como indicador novamente
Resíduo líquido dos erlenmeyers: K <sub>2</sub> CrO <sub>4</sub> e KNO <sub>3</sub>	descarte para a ETE	acondicionamento e estudo para reutilização como indicador no mesmo método
Sobras de solução de AgNO <sub>3</sub> padrão e restos da ambientação da bureta	reutilização só da solução padrão. Resíduos da ambientação destinados a ETE	misturados e destinados para a bolsa de resíduos para reutilização
Sobras de solução padrão de NaCl, solução de amostra diluída de cloretos e da ambientação da bureta	descarte para a ETE	misturados e destinados à bolsa de resíduos para reutilização em aula de determinação de cloretos
Água deionizada residuária da lavagem de vidraria	descarte na pia	reciclagem por deionização
Água potável da lavagem da vidraria	descarte na pia	descarte na pia
Papel toalha usado	descarte	descarte

### 2.13.4 Determinação de cloretos por método argentimétrico de adsorção

A determinação de cloretos também foi realizada por método argentimétrico de adsorção [81, 82, 83]. O método consistiu basicamente em titular a amostra de cloretos com  $\text{AgNO}_3$  usando fluoresceína como indicador. Segue a tabela 6 com o quadro comparativo da técnica tradicional usada na escola e a modificada.

Tabela 6. Quadro comparativo da determinação de cloretos pelo método de adsorção tradicional usado e o método modificado em Análise Química na Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha – 2001

	Método tradicional	Método modificado
amostra de cloretos	a mesma diluída e já usada no Método de Mohr $\cong 0,1 \text{ M}$	a mesma amostra diluída $\cong 0,05 \text{ M}$ do Método de Mohr
$\text{AgNO}_3$ padronizado	$0,1 \text{ M}$ – a mesma usada no Método de Mohr	$0,05\text{M}$ - a mesma usada no Método de Mohr
Fluoresceína 0,1% em álcool	10 gotas	5 gotas
Resíduo sólido dos erlenmeyers precipitado de $\text{AgCl}$ + fluoresceinato de prata	acondicionamento especial	reciclagem de $\text{AgNO}_3$
Resíduo líquido dos erlenmeyers	descarte para ETE	descarte para ETE
Sobras de solução de $\text{AgNO}_3$ padrão e restos da ambientação da bureta	reutilização só da solução padrão. Resíduos da ambientação destinados a ETE	destinadas à bolsa de resíduos para reutilização após padronização
Água deionizada contaminada da lavagem de vidraria	descarte na pia	reciclagem por deionização
Sobras de solução padrão de $\text{NaCl}$ e solução de amostra diluída de cloretos	descarte para a ETE	destinadas à bolsa de resíduos reutilização como amostra de cloretos
Papel toalha usado	descarte	descarte

### 2.13.5 Determinação de magnésio por complexometria de EDTA

A determinação de magnésio consistiu basicamente em titular a amostra de magnésio, usando solução tampão em pH 10 com EDTA e negro de eriocromo T como indicador. [81, 82, 83]

Nesta determinação de magnésio as concentrações usadas com as turmas A, B, C não foram alteradas, já que na técnica tradicional usada a concentração recomendada [81, 82, 83] já é baixa, 0,01M. Este fato, inclusive, nesta pesquisa assume uma certa importância. No decorrer do ano letivo, 2 turmas tiveram procedimentos analíticos referentes à concentração modificados para comparação com procedimento tradicional. Nesta determinação de magnésio todas as 3 turmas têm a mesma amostra e usam a mesma concentração. Foi, então, possível comparar os resultados dos procedimentos analíticos a nível de turmas sem a variável da “modificação relacionada à concentração de reagentes e amostra”.

O tempo destinado à complexometria é pouco. Em função disto, na determinação de magnésio, a padronização do EDTA foi realizada com um padrão de cálcio. Embora não seja o procedimento analítico mais correto (o mais adequado seria padronizar o EDTA com padrão de magnésio), isto é justificado porque desta maneira o aluno consegue no tempo destinado realizar 2 procedimentos com indicadores metalocromáticos diferentes, com pH e cores diferentes, o que lhe dá uma experiência maior.

Mesmo usando a técnica analítica sem modificação de concentração ainda houve diferença de alguns procedimentos conforme pode-se observar na tabela 7.



Tabela 7. Quadro comparativo da determinação de magnésio por complexometria com EDTA pelo método tradicional usado e o método modificado em Análise Química na Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha – 2001

	Método tradicional	Método modificado
EDTA 0,01M	250 ml	200 ml
CaCl <sub>2</sub> 0,01M	100 ml	100 ml
Calceína 99,99% p/p	0,005 g	0,005 g
NaOH 2M	5 ml	2,5 ml
Amostra de magnésio	0,15 g /100 ml	0,15 g /100 ml
Negro de eriocromo T 99,99% p/p	0,005 g	0,005 g
Solução tampão pH 10	5 ml	5 ml
Água potável residuária da lavagem com detergente	descarte na pia	descarte na pia
Água deionizada da lavagem da vidraria	descarte na pia	reciclagem por deionização
Papel toalha usado	descarte	descarte
Sobras de amostra de magnésio diluída	descarte para ETE	bolsa de resíduos- reutilização em aula de mesmo conteúdo
Sobras de EDTA 0,01 M e resíduos da ambientação	descarte para ETE	bolsa de resíduos - reutilização após nova padronização
Sobras da solução de cálcio	descarte para ETE	descarte para ETE

### 2.13.6. Determinação de ferro por permanganimetria

O método consistiu basicamente em titular amostra de ferro II, na presença de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> e H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, com solução de KMnO<sub>4</sub>. [82,83] O processo ocorreu em 3 fases:

- 1ª preparação da solução de KMnO<sub>4</sub> e padronização com solução de Na<sub>2</sub>C<sub>2</sub>O<sub>4</sub>;
- 2ª Preparação da amostra com H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> e diluição;
- 3ª Determinação de ferro II;

O quadro da tabela 8 faz uma comparação entre o método tradicional usado atualmente na escola e o método modificado.

Tabela 8. Quadro comparativo da determinação de ferro por permanganimetria pelo método tradicional usado e pelo método modificado em Análise Química na Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha – 2001

	Método tradicional	Método modificado
KMnO <sub>4</sub>	0,02M/250 ml	0,01 M/200 ml
Na <sub>2</sub> C <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	0,05M/100 ml	0,025M/100 ml
amostra de ferro II	5 g / 250 ml	1 g / 100 ml
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 95% p/p para preparo da amostra	5 ml	2,5 ml
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 1 M para titulação na padronização do KMnO <sub>4</sub>	250 ml ou 12,5ml conc.	125 ml ou 7,5ml conc.
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 1 M para titulação da amostra	25 ml	12,5 ml
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> concentrado p.a.	5 ml	2,5 ml
Sobras de solução de KMnO <sub>4</sub> e resíduos da ambientação	reutilização só de sobras de solução padrão. Resíduos da ambientação destinados a ETE	misturados e destinados à bolsa de resíduos – reutilização após padronização em mesma aula e outras disciplinas
Sobras da solução de oxalato de sódio	descarte para ETE	uso para limpeza da vidraria contendo resíduos com KMnO <sub>4</sub>
Sobras da amostra de ferro II diluída	descarte para ETE	utilização para determinação de ferro por dicromatometria
Água potável residuária da lavagem com detergente	descarte na pia	descarte na pia
Água deionizada da lavagem da vidraria	descarte na pia	reciclagem por deionização
Papel toalha usado	descarte	descarte

### 2.13.7 Determinação de vitamina C (ácido ascórbico) por volumetria do iodo

A determinação de ácido ascórbico<sup>2</sup> foi determinada por iodometria direta, titulação da amostra com solução padrão de iodo e amido como indicador, conforme princípio citado em referência [ 82 ]. O método seguiu 3 etapas:

1ª etapa - preparação de solução de  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  e padronização com solução de  $\text{KIO}_3$ , na presença de  $\text{KI}$  e  $\text{H}_2\text{SO}_4$  e amido como indicador;

2ª etapa – preparação da solução de iodo e padronização com a solução de  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  e amido como indicador;

3ª etapa – determinação do ácido ascórbico por titulação direta com solução padrão de iodo e amido como indicador.

A tabela 9 faz uma comparação entre o método tradicional usado e o método modificado.

---

<sup>2</sup> Método utilizado pela USP no projeto frutas em convênio com a Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha - 2001

Tabela 9. Quadro comparativo da determinação de ácido ascórbico por iodometria pelo método tradicional usado e pelo método modificado em Análise Química na Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha – 2001

	Método tradicional	Método modificado
amostra de ácido ascórbico	0,8 g	0,3 - 0,4 g
KIO <sub>3</sub>	0,01667M/250 ml	0,00833M/100ml
Solução de iodo	0,05 M/250 ml	0,025M/200ml
Solução Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,1M/250 ml	0,05M/200ml
Iodeto de potássio para preparação de iodo	10 g	4g
Iodeto de potássio para padronização do Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2g	1g
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 1M para padronização do tiosulfato de sódio	5 ml	2,5 ml
Amido 1% p/v (para padronização do Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> e para determinação do ácido ascórbico)	1 ml	1 ml
Sobras de solução de Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> incluindo resíduos de ambientação	uso para padronizar K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> para determinação de ferro por dicromatometria	uso para padronizar K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> para determinação de ferro por dicromatometria
Sobras da solução de ácido ascórbico diluído	descarte para ETE	descarte para ETE
Sobras de solução de iodo, incluindo resíduos de ambientação	reutilização só dos restos de solução padrão. Resíduos da ambientação destinados a ETE	misturados e destinados à bolsa de resíduos para reutilização após padronização
Sobras de solução padrão de KIO <sub>3</sub>	descarte para ETE	descarte para ETE
Resíduo dos erlenmeyers após titulação	descarte para ETE	descarte para ETE
Água potável residuária da lavagem com detergente	descarte na pia	descarte na pia
Água deionizada da lavagem da vidraria	descarte na pia	reciclagem por deionização
Papel toalha usado	descarte	descarte

### 2.13.8 Determinação de ferro por dicromatometria

A determinação de ferro por dicromatometria consistiu basicamente em titular a mostra de ferro II, em meio de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  e  $\text{H}_3\text{PO}_4$ , com solução de iodo usando indicador redox difenilamina, adaptação da determinação de ferro em minério de ferro [82]. O método seguiu 2 etapas:

1ª etapa – preparação de solução de  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  e padronização com solução de  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ , usando amido como indicador;

2ª etapa – determinação de ferro II.

Aqui é interessante que se justifique o uso desta técnica analítica, já que envolve cromo VI. Na permanganimetria, sobrou solução de amostra de ferro II, e esta sobra se torna amostra na dicromatometria. O objetivo aqui é dar a idéia da reutilização de resíduos de outras práticas e também a questão da minimização de erros, onde se avalia a precisão de resultados por métodos diferentes (ferro II por permanganimetria e dicromatometria). Dicromato de potássio é um padrão analítico mais estável que  $\text{KMnO}_4$ . Além disto, o aluno também deve trabalhar com algumas substâncias problemáticas pois, vai encontrá-las em sua vida profissional e deverá saber como resolver certos problemas que surgirão.

O quadro da tabela 10 faz uma comparação entre o método tradicional usado atualmente na escola e o método modificado.

Tabela 10. Quadro comparativo da determinação de ferro por dicromatometria pelo método tradicional usado e o método modificado em Análise Química na Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha – 2001

	Método tradicional	Método modificado
amostra de ferro II	0,1M/250 ml	a mesma solução de amostra diluída de ferro II 0,05M preparada na permanganimetria)
$K_2Cr_2O_7$	0,01667 M/250 ml	0,008333 M/200 ml
$Na_2S_2O_3$ para padronizar $K_2Cr_2O_7$	uso das sobras de solução 0,1 M preparada para padronizar a solução de iodo	uso das sobras de solução 0,05 M preparada para padronizar a solução de iodo
KI sólido p. a para padronizar $K_2Cr_2O_7$	5 g	2,5 g
Amido 1% p/v	2 ml	1 ml
$H_2SO_4$ 1M para padronizar $K_2Cr_2O_7$ e para determinar ferro II	100 ml	50 ml
$H_3PO_4$ concentrado p. a. para determinação de ferro II	5 ml	2,5 ml
Difenilamina 1% em ácido sulfúrico para determinação de ferro II	0,2 ml	0,2 ml
Sobras da solução padrão de $K_2Cr_2O_7$	usada na determinação de cromo III	usada na determinação de cromo III
Sobras da amostra diluída de ferro II	descarte para a ETE	Destinada a bolsa de resíduos
Sobras de solução de $Na_2S_2O_3$ incluindo resíduos de ambientação	reutilização só dos restos de solução padrão. Resíduos da ambientação destinados a ETE	misturados e destinados à bolsa de resíduos para reutilização após padronização
Resíduo dos erlenmeyers após titulação	descarte para ETE	descarte para ETE
Água potável residuária da lavagem com detergente	descarte na pia	descarte na pia
Água deionizada residuária da lavagem da vidraria	descarte na pia	reciclagem por deionização
Papel toalha usado	descarte	descarte

### **2.13.9 Determinação de cromo III de forma indireta ( por titulação de retorno) através da dicromatometria**

A escola está inserida no mercado coureiro-calçadista, onde a dicromatometria é utilizada como método analítico para determinar cromo III. Esta técnica analítica, em especial, usa titulação de retorno, um método necessário para aprendizagem e, também exige um preparo mais elaborado da amostra. O método consistiu basicamente em oxidar o  $\text{Cr}^{3+}$  da amostra a dicromato por fervura com excesso de solução de persulfato na presença de nitrato de prata como catalisador. O excesso de persulfato que permanece é destruído por fervura adicional. Determinou-se o dicromato na solução resultante por adição de excesso de solução de solução padrão de sulfato de ferro II e titulação do excesso com dicromato de potássio padrão.[81,82].

A tabela 11 mostra diferenças entre o método analítico tradicional usado e o método modificado.

Tabela 11. Quadro comparativo da determinação de cromo III por dicromatometria pelo método tradicional usado e o método modificado em Análise Química na Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha – 2001

	Método tradicional	Método modificado
Solução de $K_2Cr_2O_7$	0,01667 M – o que sobrou da determinação de ferro II	0,008333 M - o que sobrou da determinação de ferro II
Solução padrão de Sulfato de ferro II	0,1 M/250 ml	0,05 M/200 ml
$H_2SO_4$ 1M para padronização da solução de Sulfato de ferro II e para determinar cromo III	100 ml	50 ml (estudo para diminuir mais ainda)
$H_3PO_4$ concentrado p.a. para padronização da solução de Sulfato de ferro II e para determinar cromo III	5 ml	2,5 ml
Difenilamina 1% em ácido sulfúrico para padronização da solução de Sulfato de ferro II e para determinar cromo III	0,2 ml	0,2 ml
Amostra de sal de cromo III	0,3 g	0,15 g
$AgNO_3$	0,1 M/20 ml	0,05 M/20 ml (procedente da bolsa de resíduos)
Persulfato de amônio 10% p/v	50 ml	25 ml
Sobras da solução padrão de $K_2Cr_2O_7$ e resíduos da ambientação	sobras da solução padrão destinadas à bolsa de resíduos e resíduos da ambientação destinados à ETE	misturados e destinados à bolsa de resíduos para reutilização após padronização
Sobras da amostra diluída de ferro II	descarte para a ETE	descarte para a ETE
Sobras de solução de $Na_2S_2O_3$ incluindo resíduos de ambientação	reutilização só dos restos de solução padrão. Resíduos da ambientação destinados a ETE	misturados e destinados à bolsa de resíduos para reutilização após padronização
Resíduo dos erlenmeyers após titulação	descarte para ETE	descarte para ETE
Água potável com detergente residuária da lavagem	descarte na pia	descarte na pia
Água deionizada da lavagem da vidraria	descarte na pia	reciclagem por deionização
Papel toalha usado	descarte	descarte



## 2.14 AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS

A avaliação foi realizada de forma diferenciada conforme o grupo de dados a serem analisados. Numa abordagem geral, os resultados obtidos pelas turmas A e B sempre foram comparados com os resultados obtidos pela turma C.

Os resultados quantitativos relativos aos reagentes, insumos e resíduos obtidos durante 1 ano letivo das turmas A e B foram comparados com resultados da turma C, a fim de verificar se realmente havia ocorrido diminuição de 50% de resíduos e reagentes e 30% de insumos a partir da implementação das medidas de produção mais limpa, prevenção de poluição. Foi realizado um levantamento de custos comparando o método tradicional (turma C) e o método modificado (turma A e B).

Avaliou também os resultados das turmas A e B, entre si, a fim de verificar as diferenças entre elas com relação às quantidades usadas e/ou produzidas, já que foram usadas as mesmas condições para ambas as turmas e para se avaliar se havia alguma outra variável que pudesse ter interferido na obtenção dos resultados.

Os resultados analíticos das determinações monitoradas durante o ano letivo foram avaliados através de método estatístico **Q**, coeficiente de variação, teste **F** e método estatístico de **t** student. [81, 82, 83, 84, 86, 87]. Cada resultado analítico de cada subgrupo de alunos já é uma média de 3 replicatas.

Inicialmente foi usado o método **Q** para dados incorretos, erros grosseiros. Este método ajuda a decidir se um dado, aparentemente inconsistente com os outros, deve ser conservado ou descartado. Para isto, os dados devem ser organizados em ordem crescente de valor e calcula-se **Q**, como

$$Q_{\text{calculado}} = \text{intervalo} / \text{variação}$$

A variação é a dispersão total dos dados e o intervalo é a diferença entre o valor questionado e o valor mais próximo.

O  $Q_{\text{calculado}}$  é comparado com  $Q_{\text{tabelado}}$ , obtido em tabela para um determinado grau de confiança e número de medidas. Se  $Q_{\text{calculado}}$  for maior que  $Q_{\text{tabelado}}$  o dado pode ser descartado. Segundo Harris [84], algumas pessoas colocam que não se deve descartar nenhum dado, se não se sabe que houve erro no procedimento, ao passo que outras argumentam que

a medida deve ser descartada e repetida, para maior confiabilidade. A decisão é subjetiva. Aqui, os dados rejeitados foram eliminados do levantamento, já que não se teve condições de repetir o ensaio.

Após o teste Q, foi realizada uma comparação dos dados em relação ao coeficiente de variação (CV).

Entre os termos estatísticos mais comuns na Química estão o desvio padrão, a variância e o desvio médio relativo (RSD), que é dado por

$$RSD = \frac{s}{\bar{x}}$$

onde  $s$  é o desvio padrão e  $\bar{x}$  é a média das observações. Esta medida é frequentemente expressa em percentagem e é conhecida como coeficiente de variação. O coeficiente de variação (CV) é dado por

$$CV = \frac{s \times 100}{\bar{x}}$$

O coeficiente de variação mostra a variabilidade, ou seja, heterogeneidade dos dados encontrados. Quanto mais próximo de 100% mais heterogêneo.

Outro teste usado foi o teste **F**, que é uma das formas de comparar precisão entre dois conjuntos de dados [81, 82, 83, 84, 86, 87]. No teste F utiliza-se a análise da variância,  $s^2$ , a estimativa da variância dos diferentes conjuntos de medidas (análises de mesma amostra com diferentes analistas, diferentes equipamentos ou técnicas analíticas...)

$$F = \text{maior variância} / \text{menor variância}$$

Com o valor obtido verifica-se a significância em função da distribuição de valores de F correspondentes aos grau de liberdade dos dois conjuntos. Em química usa-se grau de liberdade  $n-1$ , onde  $n$  é o número de medidas. Compara-se o  $F_{\text{calculado}}$  com o  $F_{\text{tabelado}}$  (também denominado F crítico unicaudal). O valor crítico está baseado em hipótese nula pois assume que as precisões dos dois grupos são iguais. Se  $F_{\text{calculado}}$  for menor que  $F_{\text{tabelado}}$ , na probabilidade determinada, não há diferença significativa entre as duas precisões ao nível de probabilidade determinada. Em Química costuma-se usar probabilidade de 5% ( $P=0,05$ ). Se o  $F_{\text{calculado}}$  for maior que o  $F_{\text{tabelado}}$  existe diferença significativa entre as duas precisões, isto é a probabilidade do dado ter a mesma precisão é menor que 5 em 100.

Neste trabalho comparou-se o valor de F relacionando a variância de cada determinação analítica da turma A em relação à variância da turma C e a variância cada determinação da turma B em relação a turma C.

Após calculado F, foi usado o teste de *t student* [81, 82, 83, 84, 86, 87] para comparar médias de resultados de experimentos diferentes. O teste *t-student* pode ser aplicado em 3 casos. No 1º caso pode ser aplicado comparando-se um resultado medido várias vezes com um valor conhecido (referencial). Em um 2º caso pode-se também comparar 2 grupos de medidas repetidas das mesmas amostras por métodos de determinação diferentes, a fim de decidir se são ou não diferentes considerando-se determinada probabilidade ou em um 3º caso, comparar diferenças individuais com várias amostras diferentes, nenhuma repetida, usando 2 métodos de determinação diferentes.

Em função da preparação e distribuição das amostras em Análise Química na Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha foi aplicado *t student* 2º caso. Na aplicação neste trabalho comparou-se medidas repetidas para decidir se dois grupos de medidas fornecem resultados idênticos ou diferentes, dentro de um nível de 5% de probabilidade.

Para os dois grupos de dados, por exemplo, turma A e turma C, com  $n_1$  e  $n_2$  medidas, com médias  $\bar{x}_1$  e  $\bar{x}_2$ , desvio padrão  $s_1$  e  $s_2$ , calculou-se o valor de t [81, 82, 83, 84, 86, 87], considerando 95% de confiança, e comparou-se com t tabelado. É preciso considerar o teste F a fim de calcular t. Se existe ou não diferença significativa nos dados medidos e comparados nos 2 grupos os graus de liberdade são calculados de forma diferente [84]. Se  $t_{\text{calculado}}$  é maior que  $t_{\text{tabelado}}$  (t crítico bilateral) existe diferença significativa, se  $t_{\text{calculado}}$  é menor que  $t_{\text{tabelado}}$  não existe diferença significativa. Quando a diferença é significativa isto sugere a presença de algum erro sistemático (erro operacional, erro de método, erro instrumental...) Foi escolhido t crítico bilateral porque este se refere à probabilidade dos valores serem, ambos maiores ou menores do que a média, mas dentro do nível de confiança. Comparou-se resultados da turma A com C e da turma B com C.

### **3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

#### **3.1 RESULTADOS DA AVALIAÇÃO QUALITATIVA DOS ALUNOS EM RELAÇÃO À CONSCIENTIZAÇÃO E À POSTURA FRENTE AO MEIO AMBIENTE**

Como já foi colocado um dos instrumentos para avaliação qualitativa da conscientização ambiental dos alunos foi a ficha do anexo 1.

Após a devolução da ficha de coleta de dados do referido anexo constatou-se que responderam à ficha 64 alunos, o que corresponde a 93% dos participantes da equipe de trabalho, tendo, então, uma boa representatividade do grupo participante do programa.

Dos alunos das 3 turmas 17% são do sexo masculino e 83% do sexo feminino. Na turma A existem 88% de alunas contra 82% na turma B e 75% na turma C, conforme o gráfico da figura 13.

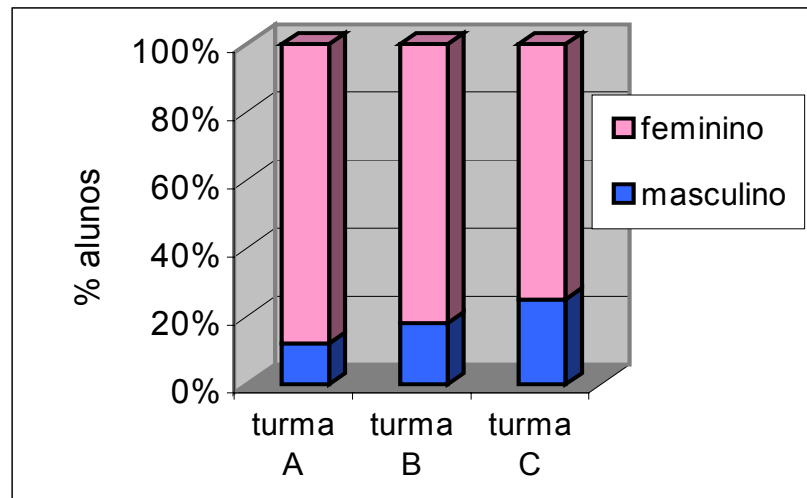


Figura 13: Percentagem de alunos do sexo feminino e masculino nas turmas A, B e C participantes da implantação de programa de produção mais limpa e prevenção à poluição em análise química na Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha-2001

Como se pode observar predomina o sexo feminino em todas as 3 turmas. O item 2 também abordou a idade dos participantes. A idade dos participantes das turmas aparece na figura 14.

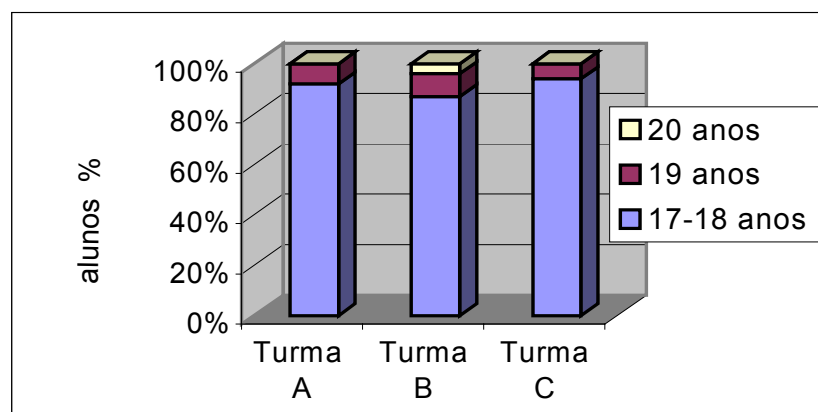


Figura 14: Idade dos alunos nas turmas A, B e C participantes da implantação de programa de produção mais limpa e prevenção à poluição em análise química na Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha- 2001

Como se pode verificar as 3 turmas têm média de 17-18 anos, sendo que a turma C apresenta índice de 94% enquanto a turma B apresenta 87% e a turma A 92 %, representando maioria.

O item 3 do anexo 1 refere-se ao nível de escolaridade das mães e pais dos alunos. Os dados estão registrados nas tabelas 12 e 13 a seguir.

Tabela 12. Nível de escolaridade da mãe dos alunos envolvidos na implantação de programa de produção mais limpa e prevenção à poluição em análise química na Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha- 2001

Escolaridade das mães	(%)		
	Turma A	Turma B	Turma C
Nível superior	28	22	13
Nível superior incompleto	8	17	19
Nível médio	24	22	25
Nível médio incompleto	16	9	6
Nível fundamental	8	13	25
Nível fundamental incompleto	16	17	13

Pode-se observar que na turma A a percentagem de escolaridade da mãe destaca-se, tendo 28% com nível superior em relação a turma B que apresenta 21 %, enquanto a turma C apresenta 13%, o menor índice.

O nível de escolaridade do pai dos alunos está na tabela 13.

Tabela 13. Nível de escolaridade do pai dos alunos envolvidos na implantação de programa de produção mais limpa e prevenção à poluição em análise química na Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha- 2001

Escolaridade dos pais	Turmas (%)		
	Turma A	Turma B	Turma C
Nível superior	20	22	20
Nível superior incompleto	20	22	26
Nível médio	28	22	27
Nível médio incompleto	4	17	
Nível fundamental	12	17	27
Nível fundamental incompleto	16		

O índice dos pais com nível superior e médio são semelhantes entre as turmas. A diferença mais acentuada é que a turma C apresenta o maior índice de pais com nível de

escolaridade fundamental 27 %, enquanto a turma A apresenta 12% e a turma B 17%

O item 4 do anexo 1 refere-se ao tipo de escola onde o aluno estudou antes de entrar para o ensino técnico de nível médio. A figura 15 mostra os dados relativos a este item.

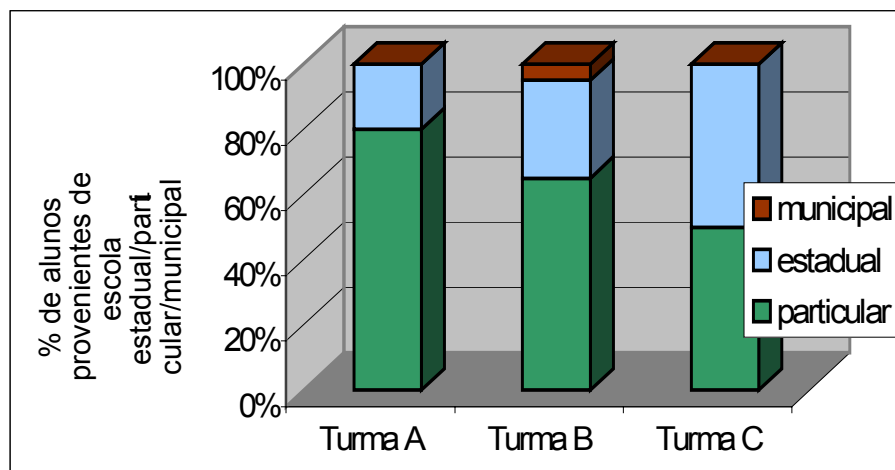


Figura 15: Tipo de escola onde os alunos participantes da implantação de programa de produção mais limpa e prevenção à poluição em análise química na Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha- 2001 estudaram antes do ensino técnico de nível médio.

Observa-se que a turma A tem um índice maior de alunos oriundos de escola particular (80%), enquanto a turma C tem o maior contingente de alunos provenientes de escola estadual (50%) comparados com 30% da turma B e 20% da turma A.

Os dados levantados com relação ao deslocamento para a escola, do item 4 do anexo 1, estão evidenciados no gráfico da figura 16.

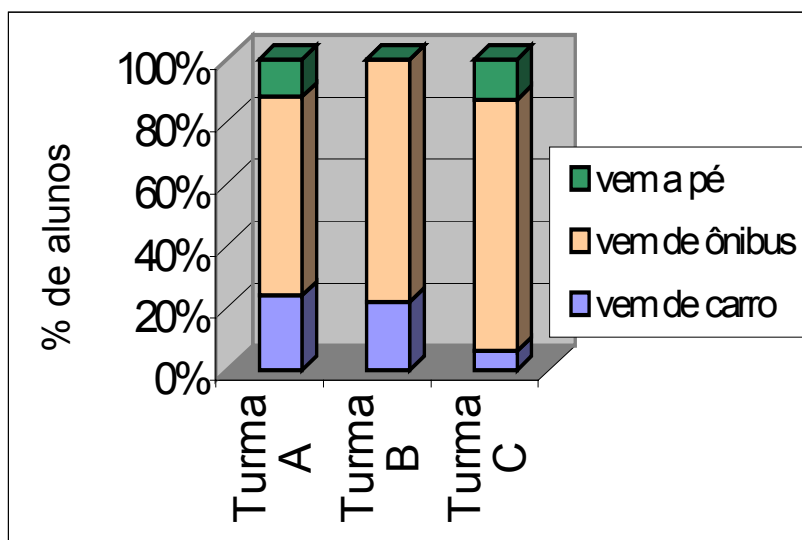


Figura 16: Deslocamento dos alunos participantes da implantação de programa de produção mais limpa e prevenção à poluição em Análise Química na Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha para a escola – 2001

O gráfico mostra que a maioria dos alunos de todas as turmas envolvidas no projeto se desloca de ônibus. A turma C é a que menos vem à escola de carro (6%) em relação à turma A (24%) e a turma B (22%).

Quanto ao local onde mora, item 5 do anexo 1, constatou-se que a maioria mora no Vale do Rio dos Sinos, como mostra a tabela 14.

Tabela 14. Região onde residem os alunos participantes da implantação de programa de produção mais limpa e prevenção à poluição em análise química na Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha – 2001

Região onde mora	(%)		
	Turma A	Turma B	Turma C
Vale dos Sinos	88	91	69
Grande Porto Alegre	12	9	25
Outro	0	0	6

A grande maioria é da região do Vale dos Sinos, sendo que a turma C tem mais alunos vindos da grande Porto Alegre, o dobro ou mais das outras turmas. É possível que isto explique o menor percentual de alunos que vêm à escola de carro, pois é menos oneroso vir de ônibus.



As outras turmas até têm um pequeno percentual que vem de carro, afinal, são oriundos do Vale dos Sinos, é menos oneroso, os pais podem mais facilmente trazê-los à escola pois é mais perto.

A questão 6 do anexo refere-se a aspectos ambientais. Trata-se do significado da aplicação do programa de produção mais limpa em Análise Química para os alunos. Os dados obtidos constam no gráfico da figura 17.

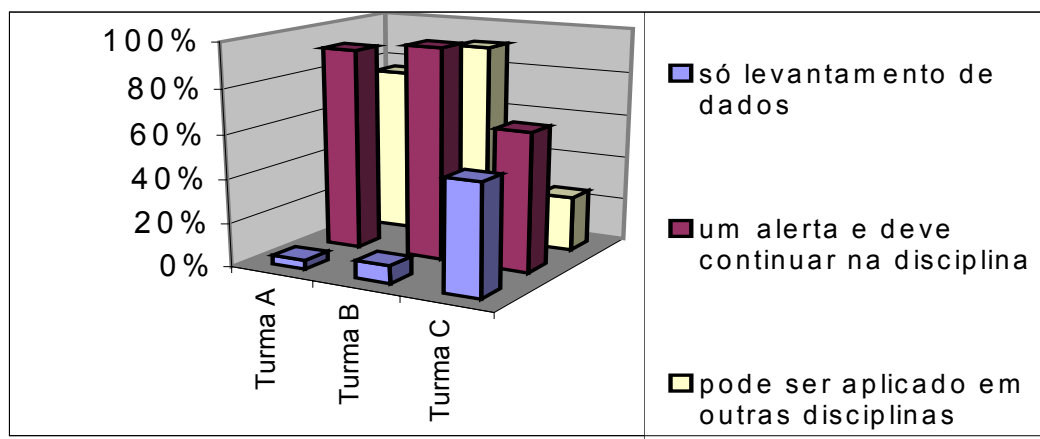


Figura 17: Significado da implantação do programa de produção mais limpa e prevenção à poluição em Análise Química para as turmas envolvidas na Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha – 2001

Quanto à questão relativa ao significado da implantação de produção mais limpa e prevenção à poluição em Análise Química sob enfoque de “só levantamento de dados de quantidades de reagentes, insumos e resíduos” a turma C atingiu 50%, para 4% da turma A e 8% da turma B. Evidentemente isto era esperado, já que foi o que realmente ocorreu nesta turma, embora só o fato de medir reagentes e insumos gastos, recolher e acondicionar resíduos para posterior uso por si próprio já tenha uma conotação ambiental, talvez por isto só 50% considerou apenas como “levantamento de dados”.

Os dados demonstram que há uma preocupação e uma conscientização com o meio ambiente bem maior nas turmas A e B, pois na turma A 92% considerou que esta pesquisa é um alerta para os problemas do meio ambiente e deve continuar ocorrendo na disciplina de Análise química. na turma B o índice foi de 96% e para a turma C apenas 63%. Como se esperava a turma C teve o menor índice.

As turmas A e B também consideraram que a implantação de PML e P2 pode ser aplicada à outras disciplinas com um escore de 76% para a turma A, 91% para a turma B e 25% para a turma C, o que demonstra mais uma vez uma conscientização maior das turmas A e B.

Nas 3 turmas ninguém considerou que o trabalho realizado na implantação de PML e P2 fosse “uma perda de tempo e que não deveria mais ser realizado” ou que “não significou nada, pois nada foi realizado”.

O item 7 do anexo 1 aborda a conscientização ambiental pelo lado da busca de conhecimentos específicos e aperfeiçoamento extra-classe na área. Os dados constam da tabela 15 a seguir.

Tabela 15. Participação de cursos, palestras, seminários relativos a temas ambientais pelos alunos das turmas envolvidas na implantação do programa de produção mais limpa e prevenção à poluição em Análise Química para as turmas envolvidas na Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha - 2001

Participação em palestras, cursos com temas ambientais	(%)		
	Turma A	Turma B	Turma C
Sim	96	60	69
Não	4	40	31

A turma A apresentou um nível de participação extremamente significativo (96%) em palestras, cursos, encontros extra-classe relativos a assuntos ambientais, como ISO 14000, Biotecnologia para tratamento de resíduos, tratamento de efluentes. Das 3 turmas sempre foram os que mais questionavam os problemas de resíduos e gastos com reagentes e insumos. A turma B também se mostrou preocupada com aspectos ambientais, pelo menos a maioria, no entanto, algumas vezes os resíduos reutilizáveis ou recicláveis foram “misturados” por alunos, não intencionalmente, mas por falta de atenção. Necessitavam uma atuação mais forte do professor e auxiliar de ensino.

A apostila de Análise Química utilizada em aulas apresenta as técnicas analíticas convencionais, com as quantidades recomendadas [81, 82, 83, 84]. Para as turmas A e B as alterações foram feitas pelo professor responsável pela implantação do PML e P2 no início de cada aula, de maneira que os alunos necessitaram alterá-la neste momento. Algumas vezes, embora houvesse um estudo formal da técnica analítica, o professor não citava a

minimização de certa quantidade de reagente e, imediatamente os alunos das turmas A e B questionavam com o objetivo de realizá-la. O mesmo questionamento ocorreu em outras disciplinas que não faziam parte deste programa. Alguns professores procuraram, na medida do possível, minimizar quantidades para ter menos resíduos, conforme o pedido dos alunos, embora não houvesse todo um estudo preliminar. Hoje já existe alguma preocupação com os resíduos por parte de alguns professores.

Atualmente estes alunos (turmas A e B) estão no 4º ano de química e têm questionado a possibilidade de minimização ou substituição de reagentes nas técnicas analíticas. Muitas vezes isto não é possível pois se trabalha com Normas Técnicas (ABNT, ASTM, ISO). Isto até pode causar um certo desconforto para alunos e professores. Há que se alertar bem os alunos a esse respeito, nem sempre é possível realizar alterações.

De maneira geral os dados mostram que sempre as turmas A e B têm índices maiores relativos à conscientização ambiental. Pressupõe-se que isto seja porque receberam orientação específica.

Trabalhar com pequenas quantidades a nível de micro análise, por exemplo, é importante, mas é também aconselhável que os alunos trabalhem com quantidades maiores, pois poderão no futuro trabalhar em processos de produção industrial com quantidades maiores e as conseqüências de um problema ambiental também serão maiores .

O item 8 do anexo 1 solicita que os alunos relatem se observaram aspectos relacionados com PML e P2 em visitas técnicas à empresas realizadas pela disciplina de desenho técnico. Os resultados estão na tabela 16.

Tabela 16. Observação de fato relacionado com produção mais limpa e prevenção à poluição em visitas técnicas pelos alunos envolvidos na implantação do programa de produção mais limpa e prevenção à poluição em Análise Química para as turmas envolvidas na Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha - 2001

Observação de fato relacionado com PML e P2 em visitas técnicas	(%)		
	Turma A	Turma B	Turma C
Sim	84	60	40
Não	16	40	60

Com relação as visitas técnicas vale ressaltar que os alunos não foram orientados de

nenhuma forma para observar fatos ambientais ou que tivessem alguma relação com a implantação de PML e P2, pois as visitas foram realizadas pela disciplina de desenho técnico tendo o enfoque de observação de *lay-out* dos laboratórios.

As turmas A e B mostraram-se mais observadoras dos aspectos ambientais. A turma A destacou-se com 84% de observações a respeito de fatos ambientais ligados ao programa no qual participavam. Nesta turma, 17 alunos observaram que os resíduos eram misturados, guardados sem muito cuidado impossibilitando a reutilização e enviados a tratamento físico-químico. Chegaram ao ponto de retirar a tampa dos *containers*, alguns até sem identificação, para verificar o conteúdo, tudo era misturado, mesmo com identificação.

Na turma B, os alunos (60%) relataram algum fato relacionado ao ambiente. Vários alunos relataram que uma empresa de tintas vendia alguns tipos de resíduos para terceiros, pois eram produtos de menor qualidade. Alguns relataram falta de ventilação e bancadas de trabalho sujas e empoeiradas. Todos os 60% relataram que havia algum tipo de tratamento para os resíduos.

Na turma C, 40% dos alunos observaram que os resíduos até eram separados em classes I, II, III. Houve relatos tais como “Não me prendi a estes detalhes”. Mesmo não tendo recebido informações e orientações específicas sobre PML e P2 em Análise Química, os alunos mostraram alguma conscientização com fatos ambientais nas empresas, embora, é claro, num nível bem menor que as outras duas turmas.

Durante o ano letivo a turma C só fez o levantamento de dados das técnicas analíticas convencionais, não minimizou, não reutilizou, etc. e, de maneira geral, pode-se dizer que os alunos não gostavam de realizar as medições, “eram só medições, era chato”. Mesmo assim sempre as realizaram, pois era tarefa de aula. Isto explica o relato da visita técnica sobre fatos relativos a PML e P2 do tipo “Não me prendi a estes detalhes”. As outras 2 turmas tinham mais entusiasmo para realizar as medições, pois estavam conscientizadas.

Sobre o item 9 do referido anexo, a respeito do que pensam os alunos sobre as aulas de laboratório e seus resíduos, temos a tabela 17 que mostra os resultados obtidos.

Tabela 17. O que os alunos envolvidos na implantação do programa de produção mais limpa e prevenção à poluição em Análise Química para as turmas envolvidas na Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha – 2001 - pensam a respeito de resíduos de laboratório

Resposta dada	Turma A	Turma B	Turma C
É preciso buscar alternativas para minimizar os resíduos, prevenir a poluição ambiental e gastar menos em tratamento e disposição de resíduos	100%	100%	88%

Todos os alunos pensam que é necessário buscar alternativas para minimizar os resíduos. Na turma C o índice aparente foi de 88% porque 2 alunos não marcaram nenhuma alternativa do verso da ficha de dados (anexo 1), provavelmente não prestaram atenção e não olharam a parte de trás da folha.

Com relação ao item 10 da ficha de dados que solicita “cite uma ação que você executou no ano letivo com relação a PML e P2”. Destacaram-se algumas respostas interessantes das turmas A e B:

a) Em Análise Química

*“Gastar menos reagentes para ter pouco resíduo e tentar reaproveitá-lo, reduzindo gastos com tratamento e armazenagem”.*

*“Utilizar menos água e detergente na lavagem da vidraria”.*

*“Reutilizar papel alumínio”.*

*“Além de participar da proposta feita pela professora, em algumas práticas questionava se o método não poderia ser feito de outra forma para prevenir a poluição ambiental”.*

b) em outra disciplina

*“Organização para não ter que repetir a prática”*

*“Em orgânica, quando o professor tinha certeza que não prejudicaria a prática, minimizava a quantidade de reagentes”.*

*“Diminuí a água na lavagem do material”.*

*“Usava xerox reduzido”.*

c) na escola

*“Colocar o lixo no lixo”.*

*“Não joguei coisas no chão nem coleí chicletes embaixo das classes”.*

*“Separação de lixo seco e orgânico”.*

*“Cuidei do patrimônio da escola”.*

*“Estou fazendo um projeto de reaproveitamento e reciclagem de resíduos”.*

d) na sua casa

*“Me preocupei mais com torneiras abertas e tempo no banho”.*

*“Passei a escovar os dentes com a torneira fechada e não manter as luzes acesas”.*

*“Separação de lixo”.*

*“Redução da água ao lavar a louça”.*

*“Cuidei da água e da energia elétrica, do consumo desnecessário”.*

*“Tentando aproveitar ao máximo os alimentos orgânicos”.*

*“Arrumei as torneiras que viviam pingando e agora só lavo a calçada quando necessário”.*

e) na comunidade

*“Me preocupei em não jogar lixo no chão e me incomodei ao ver outros colocarem lixo no chão”.*

*“Tentei conscientizar as pessoas que a minimização é necessária e muita gente se convenceu”.*

O item 10 da ficha de dados do anexo 1 tinha um espaço para sugestões e comentários.

rios. As turmas A e B foram unânimes em colocar que este tipo de trabalho deve continuar. Destacaram-se algumas respostas interessantes das turmas A e B:

*“Achei muito legal essa iniciativa de fazer um trabalho em cima da produção mais limpa e prevenção à poluição, pois isto se torna mais uma qualificação dos alunos, além de dar consciência de que não podemos esperar pelos outros para fazer alguma coisa. Alguém precisa começar”.*

*“Foi muito bom pois o estudo da técnica de produção mais limpa ajudou na minimização de reagentes e resíduos, ajudando assim a diminuir a poluição ambiental”.*

*“...foi o ano em que nos empenhamos bastante em todos os aspectos para contribuir com a redução de resíduos, reagentes e melhoria da qualidade do meio ambiente, além dos vários cursos extra-classe (que foram incentivados pela professora) oferecidos pela escola como ISO 14000, tratamento de efluentes, biotecnologia e microbiologia”.*

*“Acho que as atividades devem continuar sendo realizadas e ser estendidas a toda a comunidade Liberato”.*

*“Os resultados devem servir de alerta à comunidade Liberato”.*

*“...outro fator importante é a conscientização formada...”*

*“...acredito que isto deveria ser feito em todas as disciplinas...”*

Com relação a turma C destacaram-se as respostas:

*“Estas ações devem ser estendidas às outras disciplinas e o curso deve acatar como regra a minimização”.*

*“O controle de insumos deve continuar, mas não como forma de avaliação ...deveria ter um dia para os alunos purificarem os resíduos para reaproveitamento”.*

*“... deve continuar, mas não cada aluno ter uma pasta, mas sim uma por turma.”*

Alguns alunos têm nos colocado que têm sugerido modificações nos procedimentos de laboratórios no pré-estágio, que está sendo realizado em empresas e também em instituições de ensino agora em 2002, para prevenir a poluição, minimizar impacto ambiental e aumentar a segurança.

Formou-se um grupo de professores e auxiliares de gerenciamento ambiental no curso de Química. É possível que este projeto tenha contribuído para o espírito ambiental. Este grupo realizou um grande encontro com alunos, ex-alunos e comunidade para tratar das questões ambientais. Os alunos participaram em massa e tiveram uma postura invejável durante as palestras. Existe, agora, no curso de química, um movimento em direção a prevenção à poluição e produção mais limpa, em função, também, das dificuldades de tratamento físico-químico dos resíduos. Constata-se que a conscientização está ocorrendo a nível de alunos, professores e auxiliares.

### 3.2 RESULTADOS REFERENTES A QUANTIDADE DE INSUMOS E REAGENTES GASTOS E RESÍDUOS GERADOS NO ANO LETIVO

Os insumos e reagentes gastos e resíduos gerados foram medidos quantitativamente nas determinações de ferro e níquel por gravimetria, cloretos por método de Mohr e adsorção, magnésio por complexometria, ferro por permanganimetria e dicromatometria, ácido ascórbico por iodometria, cromo III por dicromatometria (9 determinações analíticas). A tabela 18 mostra a quantidade de insumos gastos e resíduos gerados no ano letivo.

Tabela 18. Quantidade de insumos gastos e resíduos para ETE em 1 ano letivo no programa de produção mais limpa e prevenção à poluição em análise química na Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha – 2001

Insumo/resíduo	Quantidade (Kg ou L)			% de economia em relação à turma C	
	A	B	C	A	B
papel toalha	2,7	3,4	5,2	48	35
detergente	5,5	2,9	7,5	27	61
água potável	1558,7	1191,8	3276,8	52	64
água deionizada	303,5	224,6	343,8	12	35
resíduos para ETE	60,1	70,4	94,3	36	25

Obs 1: A, B, C referem-se às turmas

obs 2: Para efeitos de comparação considerou-se todos os insumos com densidade 1,00 com exceção dos resíduos. No método modificado (A e B), nos volumes de resíduos medidos existiam 50% de compostos químicos a menos em relação ao método tradicional (C).



Como era previsto sempre as turmas A e B gastaram menos insumos e produziram menos resíduos.

Do ponto de vista de gerenciamento pode-se dizer que as medidas tomadas foram eficazes. Não houve custos para se conseguir estes resultados, apenas diminuição de insumos e reagentes e geração de menos resíduos.

Considerações devem ser feitas sobre o gasto das turmas com cada tipo de insumo em relação a tabela 18:

- Em relação à turma C, a turma A economizou 48% de papel toalha e a turma B 35%. Na média o método modificado economizou 42% de papel toalha;

- Em relação à turma C, no consumo de detergente, a turma A economizou 27% e a turma B 61%. Na média o método modificado economizou 44% em detergente;

- Sobre a quantidade de água potável utilizada a turma A economizou 52% em relação a turma C e a turma B economizou 64%. Na média o método modificado economizou 58% de água potável;

- Com relação a água deionizada a turma A economizou 12% em relação a turma C e a turma B economizou 35% de água deionizada. Na média o método modificado economizou somente 24% em água deionizada.

Em relação à turma B, a turma A consumiu menos papel, utilizou bem mais detergente, gastou um pouco mais água potável e mais água deionizada. Isto pode ser explicado considerando a postura da turma A em aula. Observou-se que esta turma sempre foi mais perfeccionista e criteriosa na limpeza da vidraria com o objetivo de alcançar um resultado analítico de excelente qualidade.

Resumidamente, temos a figura 18 que mostra a quantidade total de insumos e a figura 19 com o gráfico comparativo do percentual de responsabilidade de cada turma, no total destes insumos em 1 ano letivo, na implantação de programa de produção mais limpa e prevenção à poluição.

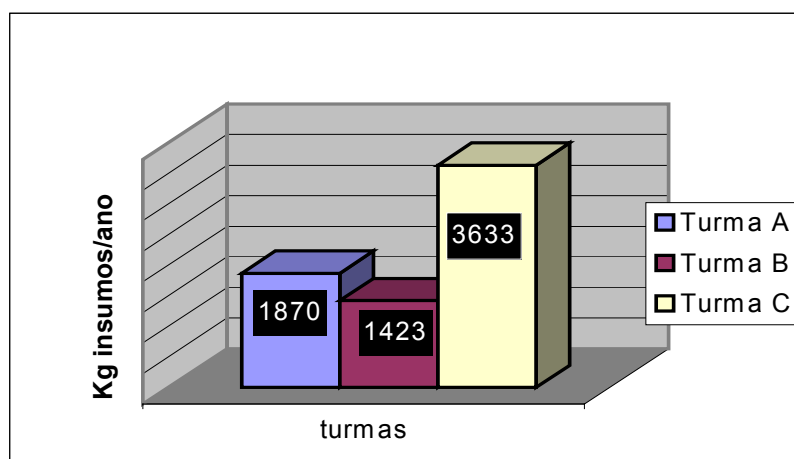


Figura 18: Gráfico da quantidade de insumos (Kg/ano) gastos pelas turmas envolvidas em PML e P2 em Análise Química na Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha – 2001.

Com relação ao total de insumos, a turma C gastou (3633Kg/ano), quantidade bem maior que a quantidade da turma A (1870Kg/ano) ou B (1423 Kg/ano). A turma A, no total, gastou um pouco mais que a B pelas razões já colocadas anteriormente.

O gráfico da figura 19 mostra a responsabilidade de cada turma com insumos.

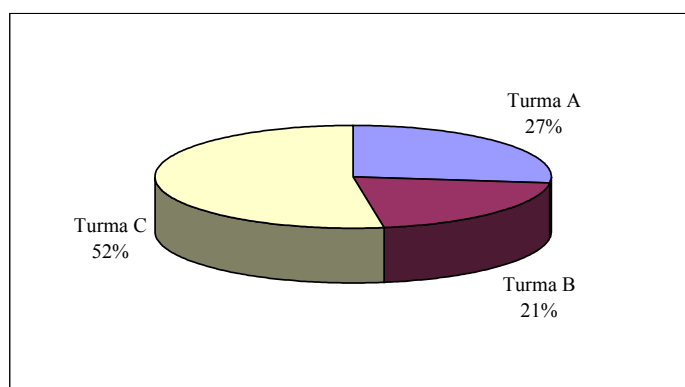


Figura 19: Gráfico sobre responsabilidade dos gastos com insumos durante 1 ano letivo pelas turmas envolvidas no programa de produção mais limpa e prevenção à poluição em análise química, na Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha – 2001

Ainda com relação aos insumos, comprovou-se que as turmas A e B juntas foram responsáveis por 48% do gasto com insumos, enquanto só a turma C foi responsável por 52%. A turma C gastou o que as duas outras gastaram em conjunto. A conscientização fun-

cionou. A economia está representada na figura 20.

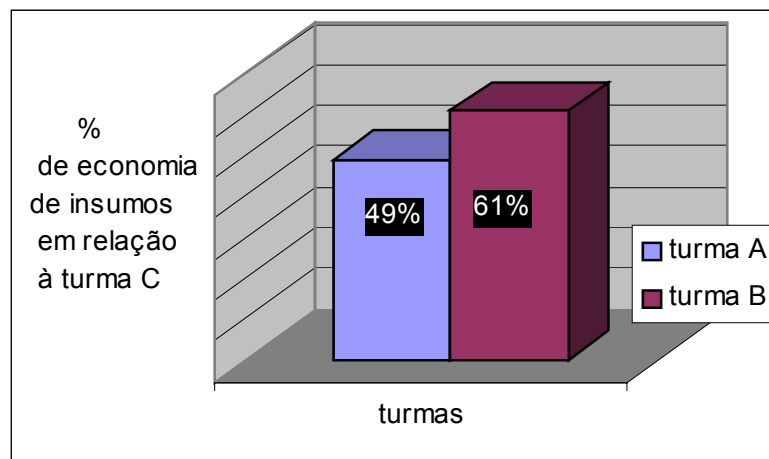


Figura 20: Percentual de economia das turmas A e B na utilização de insumos em relação a turma C, durante 1 ano letivo, no programa de produção mais limpa e prevenção à poluição em Análise Química, na Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha – 2001

A meta da implantação do programa de produção mais limpa e prevenção à poluição era de atingir-se uma economia de 30% no total de insumos das turmas A e B em relação a turma C. Considerando-se os dados da figura 20 que mostra que a turma A economizou 49% e a turma B 61 %, a meta, além de ser alcançada, superou as expectativas, pois o método modificado apresentou uma média de 55% de economia.

Com relação ao volume total de resíduos, contendo compostos químicos, gerados nas aulas e destinados a ETE os dados comprovam que as turmas A e B realmente geraram um volume menor que a turma C.

A responsabilidade sobre o volume de resíduos gerados e destinados a ETE está na figura 21.

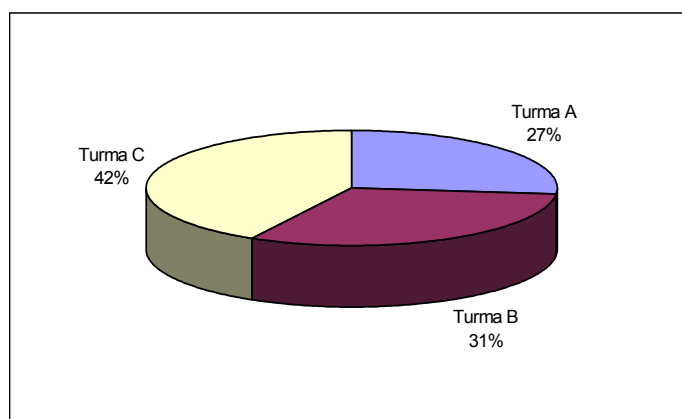


Figura 21: Responsabilidade das turmas envolvidas em PML e P2 sobre o volume de resíduos gerados e destinados à ETE em 1 ano letivo em Análise Química na Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha – 2001

Observou-se que a turma B apresentou uma leve diferença em relação a turma A porque em algumas aulas houve “mistura de resíduos”, que poderiam ter sido reaproveitados, que poderiam ter sido aproveitados e não ter o destino da ETE, por falta de atenção dos alunos.

A figura 22 mostra a redução de resíduos destinados para a ETE em relação a turma C.

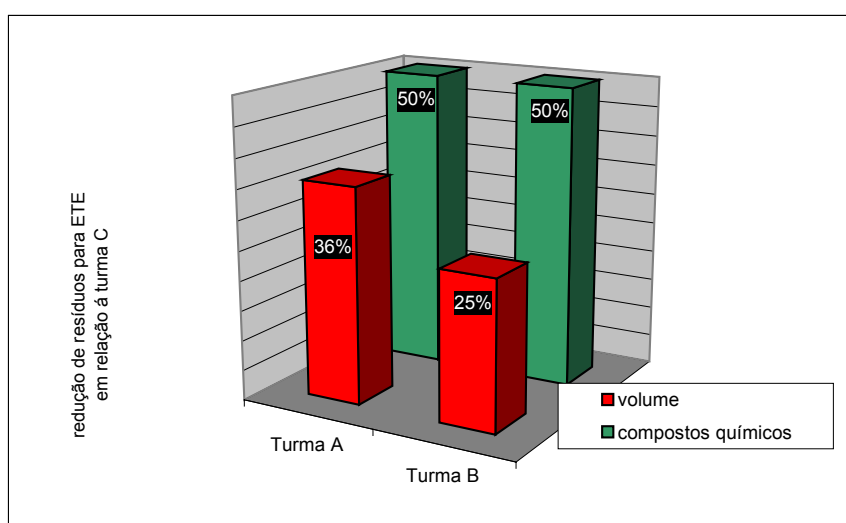


Figura 22: Redução de resíduos gerados e destinados a ETE em 1 ano letivo em Análise Química na Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha – 2001

Com relação à meta de minimização de 50% de resíduos, obteve-se uma quantidade compostos químicos 50% menor no método modificado e, além disto, um volume reduzido, em média, de 31% em relação ao método tradicional. Menor volume significa menor desperdício de água e manuseio mais fácil no tratamento físico – químico; uma quantidade 50% menor de compostos químicos para tratar significa 50% de economia em produtos para o tratamento físico-químico e menor quantidade de sólido final para disposição adequada.

Foi possível, também, avaliar o custo relativo aos insumos de uma turma no método tradicional (turma C) e no método modificado (onde se fez uma média do gasto das turmas A e B), conforme pode ser observado na tabela 19. Os valores de custo são apenas referenciais, pois pode haver variação de mercado.

Tabela 19. Custo dos insumos usados em Análise Química na implantação de PML e P2 em Análise Química na Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha em 2001.

	Método tradicional			Método modificado		
	Quantidade Kg	Custo R\$	Custo US\$	Quantidade Kg	Custo R\$	Custo US\$
papel toalha	5,20	9,88	3,66	3,10	5,89	2,18
detergente	7,50	7,50	2,78	4,20	4,20	1,56
água potável	3276,80	19,66	4,61	1375,30	8,25	3,01
água deionizada	343,8	618,84	229,20	264,10	474,84	175,87
<b>Total</b>	<b>3633</b>	<b>655,88</b>	<b>240,25</b>	<b>1647</b>	<b>493,18</b>	<b>182,62</b>

Obs: dados relativos a 16 de jun/2002; 1US\$ =R\$ 2,70

Em relação às quantidades de insumos a economia foi de 55 %, em média. Em relação aos custos a economia foi de 24 %. Isto ocorreu porque : a) só foi economizado 24% de água deionizada, a qual foi responsável pela maior parte dos custos (em torno de 96% do total, no método modificado) entre os insumos. Aqui temos uma grande justificativa da realização de reciclagem da água deionizada. Deve-se também procurar minimizar mais a água deionada; b) embora a água potável tenha sido economizada em 58%, seu custo não foi relevante. A água potável ainda é muito barata.

Com relação ao total de reagentes usados sólidos ou líquidos e considerando- os com densidade 1, para efeitos de comparação, na turma C (método tradicional) gastou-se

5,8 Kg de compostos químicos e 2,9 Kg em cada uma das turmas A e B.

A tabela 20 mostra os custos destes reagentes enquanto a tabela 21 faz um resumo total dos gastos com insumos e reagentes no método tradicional e modificado. o custo é apenas para comparação entre as turmas e métodos usados. Pode haver variação de mercado.

Tabela 20. Custo total dos reagentes usados em Análise Química na implantação de PML e P2 por 1 turma de 23 alunos em Análise Química na Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha em 2001.

	método modificado	método tradicional
Custo (US\$)/turma	US\$ 61,90 / 2,8Kg	US\$ 103,44 / 5,8Kg

Obs: preços de reagentes repassados em dez/2001 US\$ = R\$ 2,32

Embora se tenha diminuído a concentração dos reagentes em 50 % alguns deles, como indicadores e algum item como papel de filtro quantitativo, não foram minimizados porque suas quantidades já são pequenas. De acordo com o levantamento constatou-se que o método modificado teve uma economia de 40 % no custo relativo a reagentes no método modificado em relação ao método tradicional, o que é muito significativo e vantajoso.

Tabela 21. Custo médio dos reagentes e insumos usados por uma turma em Análise Química na implantação de PML e P2 por 1 turma de 23 alunos em Análise Química na Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha em 2001 .

	Método tradicional (US\$)	Método modificado(US\$)
Insumos (1US\$=R\$2,70jun/2002)	240,25	182,62
Reagentes (1US\$=R\$2,32dez/2001)	103,44	61,90
Total	343,69	244,52

Estes valores representam uma economia financeira conjunta de 29% no método modificado em relação ao tradicional.

Vale ressaltar que todos os dados de economia, minimização, redução de impacto ambiental é só para a disciplina de Análise Química, só para reagentes e insumos, só para 1 turma de alunos. O custo do tratamento físico químico dos resíduos de laboratório não foi avaliado neste trabalho. Sabe-se porém que se diminuiu a concentração de compostos químicos em 50%, logo, a quantidade de produtos necessários para o tratamento também di-

minuirá em 50%.

### 3.3 A ÁGUA DEIONIZADA RESIDUÁRIA RECICLADA

A água deionizada residuária da lavagem da vidraria foi recolhida em balde (figura 4) e transferida para o deionizador com auxílio da bomba d'água. Foi medido pH e condutividade da água proveniente diretamente da torneira, da água deionizada, da água do balde (após a lavagem do material) e da água do balde após deionização, algumas vezes. Obtivemos então uma média representada na tabela 22.

Tabela 22. Resultados analíticos da reciclagem da água deionizada residuária da lavagem do material

	pH	condutividade ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ )
água da torneira	6,0	80 - 100
água deionizada usada normalmente em aulas práticas	5,0-6,0	1 - 3
água deionizada residuária (do balde)	5,0-6,0	14 - 40
água deionizada residuária reciclada após deionização	5,0-6,0	1 - 3
água de grau 3 para laboratório [81,82]	5,0-7,5	5

A água reciclada, em termos de condutividade e pH ficou dentro dos parâmetros da água de grau 3 para laboratório, poderá ocorrer que o pH fique um pouco mais baixo que o exigido, dependendo do tipo de aula, mas como se realiza o teste 'em branco', não ocorrerão maiores problemas.

Além de reciclar a água, a vida útil da resina trocadora de íons irá aumentar, pois a água que entra normalmente no deionizador tem de 80 – 100  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  de condutividade, enquanto a residuária que entra para a reciclagem tem 14 – 40  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ , uma concentração de íons bem menor. Em trabalho futuro pode-se prever um estudo maior a respeito da vida útil da resina, incluindo a verificação da possível presença de resíduos de detergente.

### 3.4 RESULTADOS ANALÍTICOS DAS DETERMINAÇÕES MONITORADAS

Os resultados analíticos foram analisados de acordo com o teste Q, coeficiente de variação, teste F e *t student*. Na apresentação dos resultados está colocado o ocorrido com o teste Q, seguido da descrição estatística e comparação do coeficiente de variação, depois uma comparação dos resultados com o teste F e por último com o teste *t student*.

Na determinação de ferro por gravimetria cada turma recebeu 2 amostras diferentes. Com os dados obtidos realizou-se o teste Q. Para a amostra 1 foi rejeitado, pelo teste Q 1 valor de cada turma. Para a amostra 2 foi rejeitado 1 valor da turma A. A descrição estatística dos dados resultantes está na tabela 23.

Tabela 23. Descrição estatística da determinação de ferro por gravimetria de precipitação

	amostra 1			amostra 2		
	turma A	turma B	turma C	turma A	turma B	turma C
Média (% p/p)	14,80	15,90	15,57	21,20	18,88	21,29
Erro padrão	0,1690	0,0784	0,1372	0,2225	2,6186	0,2106
Mediana	14,94	15,97	15,69	20,97	21,015	21,415
Desvio padrão	0,4139	0,1358	0,2744	0,5888	5,2371	0,5159
Variância da amostra	0,1713	0,0184	0,0753	0,3467	27,4272	0,2661
Coeficiente de variação	2,7957	0,8541	1,7620	2,7767	27,7352	2,4222
Intervalo	1,19	0,24	0,58	1,58	11,10	1,41
Mínimo	14,12	15,74	15,16	20,55	11,20	20,34
Máximo	15,31	15,98	15,74	22,13	22,3	21,75
Soma	88,82	47,69	62,28	148,43	75,53	127,78
Observações	6	3	4	7	4	6
Nível de confiança (95,0%)	0,4343	0,3373	0,4366	0,5445	8,3334	0,5414

Na determinação de níquel por gravimetria de precipitação, após a aplicação do teste Q, foram rejeitados 2 dados no total, sendo 1 valor da turma B (amostra 1) e 1 valor da turma A (amostra 2). Temos então a descrição estatística dos dados resultantes na tabela 24.



Tabela 24. Descrição estatística da determinação de níquel por gravimetria de precipitação

	amostra 1			amostra 2		
	turma A	turma B	turma C	turma A	turma B	turma C
Média	14,65	14,64	14,69	21,01	20,77	21,42
Erro padrão	0,04	0,06	0,07	0,51	0,53	0,23
Mediana	14,63	14,61	14,65	21,49	20,93	21,51
Desvio padrão	0,0981	0,1541	0,1398	1,0230	1,0608	0,5601
Variância da amostra	0,0096	0,0237	0,0195	1,0466	1,1254	0,3137
Coefficiente de variação	0,6692	1,0525	0,9514	4,8693	5,1076	2,6154
Intervalo	0,28	0,39	0,31	2,11	2,26	1,54
Mínimo	14,54	14,48	14,58	19,48	19,48	20,43
Máximo	14,82	14,87	14,89	21,59	21,74	21,97
Soma	102,56	87,83	58,76	84,04	83,08	128,5
Contagem	7	6	4	4	4	6
Nível de confiança(95,0%)	0,0907	0,1617	0,2224	1,6279	1,6880	0,5878

Na determinação de cloretos por Mohr foram dadas 2 amostras diferentes para as turmas. Após a aplicação do teste Q foram rejeitados 2 valores da turma A (amostra 2) e 1 valor da turma B (amostra 2). Temos, então a descrição estatística dos dados resultante na tabela 25.

Na determinação de cloretos por método de adsorção foram usadas as mesmas amostras de cloretos por Mohr. Após a aplicação do teste Q nos resultados só foi rejeitado 1 valor da amostra 1 turma C. Temos a descrição estatística dos dados resultantes na tabela 26.

Tabela 25. Descrição estatística da determinação de cloretos por método de Mohr

	amostra 1			amostra 2		
	turma A	turma B	turma C	turma A	turma B	turma C
Média (%)	60,20	58,36	59,35	47,46	47,14	46,72
Erro padrão	0,3807	1,7766	0,5621	1,5389	0,1787	0,9983
Mediana	60,13	59,2	60,025	47,42	47,13	47,21
Desvio padrão	0,9324	3,0772	1,3767	4,0716	0,3997	2,2323
Variância da amostra	0,8695	9,4693	1,8954	16,5780	0,1598	4,9830
coeficiente de variação	1,5490	5,2728	2,3196	8,5783	0,8479	4,7776
Intervalo	2,71	5,98	3,46	14,01	1,07	5,94
Mínimo	58,87	54,95	56,92	40,92	46,69	42,96
Máximo	61,58	60,93	60,38	54,93	47,76	48,9
Soma	361,19	175,08	356,12	332,25	235,7	233,62
Contagem	6	3	6	7	5	5
Nível de confiança (95,0%)	0,9785	7,6443	1,4448	3,7656	0,4963	2,7717

Tabela 26. Descrição estatística dos dados da determinação de cloretos por adsorção

	amostra 1			amostra 2		
	turma A	turma B	turma C	turma A	turma B	turma C
Média (%p/p)	60,22	58,35	60,54	46,81	45,114	46,814
Erro padrão	0,3016	1,7160	0,1489	1,4712	0,7982	0,3754
Desvio padrão	0,7387	2,9721	0,3329	3,8924	1,7849	0,8395
Variância da amostra	0,5457	8,8336	0,1109	15,1506	3,1858	0,7047
Coefficiente de variação	1,2268	5,0939	0,5500	8,3153	3,9564	1,7932
Intervalo	2,05	5,52	0,75	13,27	4,23	2,21
Mínimo	59,53	54,95	60,25	40,4	42,67	45,8
Máximo	61,58	60,47	61	53,67	46,9	48,01
Soma	361,29	175,04	302,7	327,67	225,57	234,07
Contagem	6	3	5	7	5	5
Nível de confiança(95,0%)	0,7752	7,3832	0,4134	3,5998	2,2162	1,0424

A tabela 27 apresenta os resultados referentes a determinação de magnésio por complexometria e a tabela 28 os dados referentes a determinação de ferro por permanganimetria.

Tabela 27. Descrição estatística dos dados da determinação de magnésio

	turma A	turma B	turma C
Mediana	12,00	12,09	11,94
Média	12,08	12,292	11,87
Erro padrão	0,1080	0,2087	0,065
Desvio padrão	0,3410	0,7230	0,2166
Variância da amostra	0,1163	0,5227	0,0469
coeficiente de variação	2,8239	5,8818	1,8248
Intervalo	0,96	2,26	0,78
Mínimo	11,68	11,26	11,35
Máximo	12,64	13,52	12,13
Soma	120,75	147,50	130,56
Contagem	10	12	11
Nível de confiança(95,0%)	0,2439	0,4594	0,1455

Na determinação de magnésio, ao se analisar os resultados obtidos através do teste Q, 2

valores da turma A e 2 da turma B foram rejeitados. Da turma C nenhum valor foi rejeitado.

Na determinação de magnésio houve um diferencial em relação às outras determinações. Todas as três turmas usaram as mesmas concentrações de soluções e amostra, não houve nenhuma modificação na técnica. A solução padrão tinha concentração relativamente baixa (0,01M) conforme indicado em bibliografia referencial [81, 82, 83]. Um fato que chama a atenção é que teoricamente como tudo era igual, os resultados das turmas deveriam ser iguais. Tal fato não ocorreu. A turma A apresentou um coeficiente de variação 2,8239 enquanto a turma B 5,8818 e a C 1,8248. A turma C apresentou o menor coeficiente de variação e a turma B apresentou a maior diferença. Isto vem comprovar a maneira de trabalhar no laboratório. A turma C sempre foi mais organizada e teve uma postura mais técnica. A turma A era tão meticulosa, queria sempre ter as ‘melhores notas’, que acabava se ‘atrapalhando’ e a turma B sempre queria fazer tudo bem rápido, sem tanta preocupação com resultados ou notas. Para eles o importante era fazer, fazer logo para terminar logo. A turma B sempre foi a mais agitada.

Na determinação de ferro por permanganimetria as turmas receberam 2 amostras para análise. Após aplicação do teste Q, foi rejeitado 1 valor da cada turma, resultando na descrição estatística da tabela 28.

Tabela 28. Descrição estatística de dados da determinação de ferro por permanganimetria

	amostra 1			amostra 2		
	turma A	turma B	turma C	turma A	turma B	turma C
Média (% p/p)	13,65	13,97	13,42	19,64	19,50	19,56
Erro padrão	0,7482	0,1271	0,1530	0,1748	0,2224	0,2875
Mediana	13,72	13,87	13,36	19,7	19,625	19,18
Desvio padrão	1,6729	0,2841	0,3421	0,3909	0,5449	0,6429
Variância da amostra	2,7987	0,0807	0,1170	0,1528	0,2969	0,4133
Coeficiente de variação	12,2524	2,0334	2,5484	1,9899	2,7946	3,2875
Intervalo	4,71	0,68	0,81	1,08	1,51	1,32
Mínimo	11,14	13,79	13,07	19,05	18,44	19,00
Máximo	15,85	14,47	13,88	20,13	19,95	20,32
Soma	68,27	69,86	67,12	98,21	116,98	97,78
Contagem	5	5	5	5	6	5
Nível de confiança (95,0%)	2,0772	0,3528	0,4248	0,4853	0,5718	0,7983

Na determinação de ácido ascórbico com a aplicação do teste Q foi rejeitado somente 1 valor da turma B. Assim temos a descrição estatística dos dados resultantes na tabela 29.

Tabela 29. Descrição estatística dos dados da determinação de ácido ascórbico

	turma A	turma B	turma C
Média	101,63	102,57	101,79
Erro padrão	0,9693	1,4220	0,8794
Mediana	100,00	102,29	103,14
Desvio padrão	3,4949	5,1272	2,9166
Variância da amostra	12,2140	26,2879	8,5066
coeficiente de variação	3,4387	4,9987	2,8655
Intervalo	11,19	19,85	9,08
Mínimo	97,81	89,28	96,69
Máximo	109,00	109,13	105,77
Soma	1321,22	1333,40	1119,64
Contagem	13	13	11
Nível de confiança (95,0%)	2,1119	3,0983	1,9594

Na determinação de ferro por dicromatometria as amostras usadas foram a mesmas usadas na determinação de ferro por permanganimetria (2). Na análise dos resultados com o teste Q foram rejeitados 3 valores totais, 1 da turma B (amostra 1), 1 da turma A e 1 da turma B (ambos da amostra 2). Daí temos a descrição estatística dos dados resultantes na tabela 30.

Tabela 30. Descrição estatística dos dados da determinação de ferro por dicromatometria

	amostra 1			amostra 2		
	turma A	turma B	turma C	turma A	turma B	turma C
Média (% p/p)	14,35	14,29	14,63	19,45	19,20	20,51
Erro padrão	0,4186	0,0576	0,2991	0,0531	0,8100	0,4455
Mediana	14,05	14,2	14,45	19,44	19,43	20,2
Desvio padrão	0,8372	0,1153	0,5181	0,1187	2,1432	0,9963
Variância da amostra	0,7008	0,0133	0,2684	0,0141	4,5933	0,9926
Coefficiente de variação	5,8359	0,8069	3,5422	0,6099	11,1625	4,8570
Intervalo	1,85	0,24	0,99	0,29	6,47	2,63
Mínimo	13,72	14,22	14,22	19,33	14,75	19,58
Máximo	15,57	14,46	15,21	19,62	21,22	22,21
Soma	57,38	57,15	43,88	97,27	134,40	102,60
Contagem	4	4	3	5	7	5
Nível de confiança(95,0%)	1,3321	0,1835	1,2870	0,1473	1,9821	1,2370

Na tabela 31 constata-se que nas determinações o coeficiente de variação sempre ficou longe de 100 %. Isto é fator positivo pois, quanto mais próximo de 100 mais heterogêneos são os resultados. Observa-se, no entanto que a turma B teve, em geral um coeficiente de variação maior e a turma A em alguns trabalhos. Novamente se comprova a maneira de se comportar nas aulas. A turma A era bastante minuciosa e procurava tanta perfeição que isto possivelmente foi estressante e pode ter levado a algumas falhas. A turma B era bastante agitada e sua tendência era fazer rápido para poder ‘sair mais cedo’ da aula. A turma C manteve sempre uma certa constância e o coeficiente nunca ultrapassou 5 %. Na realidade, como já foi dito, a turma C sempre foi mais tranqüila, mais organizada, mais técnica na execução das análises. Os resultados da turma C foram mais homogêneos.

Tabela 31. Coeficiente de variação (%) das determinações realizadas pelas turmas

	turma A	turma B	turma C
ferro por gravimetria (amostra 1)	0,1713	0,0184	0,0753
ferro por gravimetria (amostra 2)	0,3467	27,4272	0,2661
níquel por gravimetria (amostra 1)	0,6692	1,0525	0,9514
níquel por gravimetria (amostra 2)	4,8693	5,1076	2,6154
cloretos Mohr (amostra 1)	1,5490	5,2728	2,3196
cloretos Mohr (amostra 2)	8,5783	0,8479	4,7776
cloretos adsorção (amostra 1)	1,2268	5,0939	0,55
cloretos adsorção (amostra 2)	8,3153	3,9564	1,7932
magnésio complexometria	2,8239	5,8818	1,8248
ferro permanganimetria (amostra 1)	12,252	2,0334	2,5484
ferro permanganimetria (amostra 2)	1,9899	2,7946	3,2875
ácido ascórbico iodometria	3,4387	4,9987	2,8655
cromo dicromatometria	12,4261	5,5329	5,9941
ferro dicromatometria (amostra 1)	5,8359	0,8069	3,5422
ferro dicromatometria (amostra 2)	0,6099	11,1625	4,8570

Observando-se os resultados do coeficiente de variação pode dar impressão de que trabalhar com concentração 50% menor influenciou negativamente, já que o coeficiente de variação da turma C, em geral, foi menor que na turma A e, muitas vezes, menor que na turma B. Analisando-se melhor, na determinação de magnésio usou-se concentração de soluções e amostras 0,01 M para todas as 3 turmas. Os procedimentos analíticos foram os mesmos, não houve diferença de procedimento analítico. No entanto, a turma C teve também o menor coeficiente de variação (1,8248), enquanto que a turma B teve o maior (5,8818). Mais uma vez constata-se que a postura de trabalho das turmas interferiu. A turma C mais organizada e técnica teve mais homogeneidade nos resultados e a turma B, mais dispersiva e agitada, teve mais heterogeneidade. A turma A ficou na média, porém com o coeficiente de variação (2,8239) maior que o da turma C (1,8248). Mesmo com estas diferenças o coeficiente de variação das 3 turmas sempre ficou longe de 100% e considerou-se como bons os resultados gerais, em termos de homogeneidade.

A tabela 32 mostra os resultados das análises em relação ao teste F.

Tabela 32. Comparação de F calculado e F tabelado com 5% de probabilidade nas determinações das turmas A, B e C

	turmas A e C			turmas B e C		
	F calculado	F crítico uni-caudal	P (F $\leftarrow$ f) unicaudal	F calculado	F crítico uni-caudal	P (F $\leftarrow$ f) unicaudal
Ferro/ gravimetria (amostra 1)	2,2758	9,0134	0,2651	4,0832	19,1642	0,2030
ferro/gravimetria (amostra 2)	2,2758	9,0134	0,2651	0,2449	0,0522	0,2030
níquel/gravimetria (amostra 1)	2,0317	4,7571	0,2110	1,2152	9,0134	0,4652
níquel/gravimetria (amostra 2)	3,3358	5,4094	0,1138	3,5870	5,4094	0,1138
cloretos Mohr (amostra 1)	2,1800	5,0503	0,2063	4,9959	5,7861	0,0642
cloretos Mohr (amostra 2)	3,3269	6,1631	0,1323	31,1930	6,3882	0,0028
cloretos adsorção (amostra 1)	4,9226	6,2561	0,0739	79,6900	6,9443	0,0006
cloretos adsorção (amostra 2)	21,4984	6,1631	0,0052	4,5206	6,3882	0,0865
magnésio complexometria	2,4787	3,0204	0,0868	11,1426	2,9430	0,1116
Ferro/permanganimetria (amostra 1)	23,9146	6,3882	0,0047	1,3923	5,1922	0,3567
Ferro/permanganimetria (amostra 2)	2,7056	6,3882	0,1792	1,3923	5,1922	0,3567
ácido ascórbico iodometria	1,4358	2,9130	0,2875	3,0903	2,9130	0,0417
cromo dicromatometria	4,0952	4,2839	0,0551	1,0917	4,2839	0,4590
ferro/dicromatometria (amostra 1)	2,6108	19,1642	0,2890	20,1956	9,5521	0,0182
ferro/dicromatometria (amostra 2)	70,4950	6,3882	0,0006	4,6277	6,1631	0,0799

Na análise da tabela 32 constata-se que relacionando as turmas B e C na determinação de cloretos por Mohr (amostra 2)  $F_{\text{calculado}}$  foi 31,1930 e  $F_{\text{tabelado}}$  (crítico unicaudal) foi 6,3882. Como  $F_{\text{calculado}}$  foi maior que  $F_{\text{tabelado}}$  e ainda  $P (F \leftarrow f)$  unicaudal foi 0,0028 (menor

que 0,05), indica que a probabilidade de as turmas apresentarem a mesma precisão é menor que 5%, ou seja, a turma B apresentou diferença significativa na precisão dos resultados em relação a turma C com nível de confiança de 95%. No entanto a turma A não apresentou diferença significativa ( $F_{\text{calculado}} < F_{\text{tabelado}}$ ) mostrando que o problema não foi do método, possivelmente foi dos operadores.

Na determinação de cloretos por adsorção (amostra 1)  $F_{\text{calculado}}$  para as turmas B e C é 79,6900,  $F_{\text{tabelado}}$  foi 6,9443 e P foi 0,0006 (menor que 0,05) mostrando que existe diferença significativa entre as precisões dos dados das turmas B e C. A turma A não teve diferença significativa ( $F_{\text{calculado}} < F_{\text{tabelado}}$ ) indicando que o problema é dos operadores da turma B e não do método. Com a amostra 2 relacionando as turmas A e C ocorreu que  $F_{\text{calculado}}$  foi 21,4984 (maior que  $F_{\text{tabelado}}$  6,1631) e P foi de 0,005 (menor que 0,05), mostrando que existe diferença significativa entre a precisão dos dados das turmas A e C. Como a turma B não apresentou diferença significativa com a amostra 2 concluiu-se que o problema foi, possivelmente, dos operadores da turma A e não do método.

Problemas semelhantes ocorreram com as determinações de ácido ascórbico e ferro por dicromatometria. Realizadas estas considerações pode-se dizer que não houve diferença significativa nas precisões de resultados do método modificado (turmas A e B) e do método tradicional (turma C). Em seguida temos a tabela 33 que mostra os dados obtidos com o teste *t student* para as determinações monitoradas.



Tabela 33. Comparação t calculado e t tabelado (t crítico bi-caudal)

	turmas A e C			turmas B e C		
	t calculado	t crítico bicaudal	P(T $\leq$ t) bicaudal	t calculado	t crítico bicaudal	P(T $\leq$ t)
Ferro por gravimetria( amostra 1)	-3,2269	2,3060	0,0121	-1,8661	2,5706	0,1210
ferro por gravimetria (amostra 2)	-0,2982	2,2010	0,7711	-0,9190	3,1824	0,4259
níquel por gravimetria (amostra 1)	0,5414	2,2622	0,6014	-0,5377	2,3060	0,6054
níquel por gravimetria (amostra 2)	-0,8212	2,3060	0,4353	-1,2742	2,3060	0,2383
cloretos Mohr( amostra 1)	-1,2448	2,2281	0,2416	-0,6972	2,3646	0,5081
cloretos Mohr( amostra 2)	0,3659	2,2281	0,7221	0,4102	2,7765	0,7027
cloretos adsorção (amostra 1)	28,1892	2,2622	4,33E-10	-1,2734	4,3027	0,3309
cloretos adsorção (amostra 2)	-0,9663	2,3646	0,3661	-0,0022	2,2281	0,9983
magnésio complexometria	2,4787	3,0204	0,1116	11,1426	2,9430	0,0754
ferro permanganimetria (amostra 1)	0,3012	2,7765	0,7783	-2,7555	2,3060	0,0248
ferro permanganimetria (amostra 2)	-0,2556	2,3060	0,8047	0,1660	2,2622	0,8719
ácido ascórbico iodometria	-0,1152	2,0740	0,9093	0,4688	2,0860	0,6443
cromo dicromatometria	-0,4658	2,1788	0,6497	-1,1758	2,1788	0,2625
ferro dicromatometria (amostra 1)	-0,5076	2,5706	0,6333	1,1134	4,3027	0,3814
ferro dicromatometria (amostra 2)	2,3579	2,7765	0,0778	-1,2619	2,2281	0,2356

O teste de *t student* visa determinar a precisão das médias dos resultados de dois grupos (turmas A e B e turmas B e C). Analisando a tabela 35, na determinação de ferro por gravimetria na amostra 1 comparação das turmas A e C, o  $t_{\text{calculado}}$  (-3,22) foi maior que  $t_{\text{crítico}}$  (2,3) e  $P = 0,021$  (menor que 0,05), mostrando que a hipótese das médias serem iguais é rejeitada. No entanto, na relação das turmas B e C para a mesma amostra o  $t_{\text{calculado}}$  (-1,86) deu menor que  $t_{\text{crítico}}$  (2,57) e  $P = 0,12$ . Isto nos diz que não foi um erro sistemático de método, possivelmente foi de operadores. Se fosse um erro de método os resultados de A e C e B e C forneceriam resultados semelhantes em *t student*.

Fato semelhante ocorreu com a determinação de cloretos por adsorção, amostra 1, turmas A e C, indicando que houve uma diferença significativa, enquanto que *t student* na relação de B e C mostrou que não existiu diferença significativa nas médias. Então, não foi um erro de método.

Na determinação de ferro por permanganimetria, amostra 1, turmas B e C, *t student* mostra que existiu diferença significativa. No entanto, com a mesma amostra turmas A e C *t student* mostrou que não houve diferença significativa. Novamente concluiu-se que não foi um erro de método, possivelmente foi dos operadores.

Estas possíveis diferenças dos operadores em diferentes aulas podem ser explicadas pela agitação das turmas em determinados momentos e, por isto estão mais sujeitas a erros sistemáticos de operação.

Em todas as outras determinações o teste *t student* indicou que não há diferença significativa entre as médias das turmas A e C e B e C.

Olhando-se o todo dos resultados pode-se dizer que não há diferença significativa entre o método tradicional e o método modificado pela redução das concentrações de amostras, reagentes e soluções em 50 %. Pode-se dizer que o método modificado é viável em termos de precisão de médias, além de gerar menos resíduos, maior segurança e menos custos.

## 4 CONCLUSÃO

Os resultados apresentados em todo o contexto permitiram a resposta ao objetivo geral estabelecido que era implantar um programa de produção mais limpa, sem alteração significativa da precisão dos resultados analíticos e hipóteses traçadas.

Com relação ao objetivo geral realmente o programa de produção mais limpa foi implantado com sucesso e mostrou que é possível realizá-lo em escola, em laboratório, em Análise Química ou qualquer outra disciplina, sem recursos financeiros. É apenas necessário fazer as devidas adaptações em função das peculiaridades de cada disciplina. Ainda em um nível global e em prazo maior, pretendia-se que estes alunos, quando atuassem futuramente nas empresas como estagiários ou técnicos em pesquisas, controle de qualidade ou atividades correlatas à sua profissão, fossem capazes de introduzir e utilizar os conceitos trabalhados. Pode-se dizer que isto também foi alcançado já que os alunos, agora em 2002 no 4º ano de química, ao realizar pré-estágio em empresas têm relatado que estão propondo medidas de prevenção a poluição, mais segurança, minimização, controle de reagentes e insumos, ou seja, produção mais limpa.

Os resultados analíticos no método modificado não tiveram diferença significativa em relação a precisão dos resultados obtidos com o método tradicional, constatado pelo teste F, teste de *t student* e pelo coeficiente de variação.

Dentro dos objetivos específicos de buscar a conscientização dos alunos para a qualidade de resultados e proteção do meio ambiente pode-se dizer que isto também ocorreu. A questão da conscientização dos alunos com relação a sua responsabilidade sobre

resíduos gerados, segurança pessoal e ambiental ficou evidenciada perante suas atitudes, respostas dadas e questionamentos feitos a outros professores e, também pelos relatos do pré-estágio. Formou-se um grupo de professores e auxiliares para gerenciamento ambiental e de segurança no curso de Química. A conscientização foi alcançada.

Com relação às hipóteses de que se reagentes e insumos fossem reduzidos à metade teríamos uma minimização de 50% de resíduos e redução nos custos, que se a água deionizada das lavagens de vidrarias fosse reciclada através de resina trocadora de íons, apresentaria características de pH e condutividade adequados à reutilização nas próprias aulas e que após a realização deste trabalho com os alunos, estes teriam uma maior consciência ambiental, medida qualitativamente, pelas suas atitudes diárias, observadas na escola, e em relação às metas de redução de 50% de reagentes e resíduos destinados a ETE e 30% de insumos durante 1 ano letivo em relação ao método tradicional usado nas aulas, concluiu-se que:

- ✓ A proposta de minimização de reagentes em 50% foi efetiva e eficaz, já que reagentes tiveram suas concentrações diminuídas em 50%, só algumas soluções como, por exemplo, indicadores tipo fenolftaleína e alguns itens como papel de filtro quantitativo não tiveram suas quantidades diminuídas. Tivemos, então, 40 % de economia nos custos de reagentes no método modificado quando comparado com o tradicional.
- ✓ Com relação aos resíduos, no método modificado a quantidade de compostos químicos nos resíduos diminuiu em 50% enquanto que o volume foi reduzido, em média, em 30%. Deixa-se de tratar e dispor adequadamente 50% de compostos químicos, com um volume menor, mais fácil para manuseio.
- ✓ A reciclagem, por deionização, da água deionizada residuária da lavagem da vidraria mostrou que é viável já que os parâmetros de pH e condutividade foram alcançados para água de laboratório de grau 3.
- ✓ Os alunos tiveram uma excelente postura ambiental de acordo com suas atitudes diárias na escola, questionamentos e propostas dadas às empresas onde trabalham atualmente.
- ✓ A meta de minimização dos insumos era de 30%. Com relação ao método tradicional o resultado superou as expectativas alcançando-se 55 % de redução no método modificado. Em média representou 24% de diminuição nos custos. Deve-se trabalhar para redu-

zir mais o consumo de água deionizada, a qual foi responsável pelo maior % dos custos nos insumos.

- ✓ Na questão de custos totais referentes a reagentes e insumos obteve-se uma redução de aproximadamente 29%.

Este projeto pode ser utilizado em outras disciplinas com as devidas adaptações de acordo com a sua natureza e especificidade e a produção mais limpa e a prevenção à poluição representa muito em termos de conscientização de alunos e professores que atuam na área.

## **5 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

Como este trabalho teve êxito nas medidas adotadas em análise química, pode ser aplicado em outras disciplinas. Estudos poderão ser realizados para implementação em outras disciplinas.

A continuação dos estudos da reciclagem de resíduos de cromatos da argentimetria por método de Mohr e da determinação de cromo III por dicromatometria e dos resíduos de magnésio por gravimetria aplicados à complexometria com EDTA também está prevista.

Pretende-se melhorar a monitoração do gasto de água colocando-se um hidrômetro ou equipamento a ser desenvolvido em conjunto com alunos dos cursos de eletrônica e mecânica, na entrada de água do laboratório.

O projeto pode ser ampliado e pode-se estudar a questão do consumo de energia em análise química (estudos da eficiência das lâmpadas, estufas, muflas, etc) com auxílio de pessoal da área de eletrotécnica.

Temos também como proposta futura o estudo do uso da água da chuva, reciclada através de deionização, com aplicação a processos analíticos de laboratório como água deionizada.

Pode ser realizado um estudo da vida útil da resina de troca iônica com a reciclagem da água deionizada residuária e também da água da chuva em comparação à água potável diretamente da torneira que entra para deionização.

Em trabalhos futuros pode-se inserir o conceito de ‘análise de ciclo de vida’ no con-

texto da disciplina comparando-se duas ou mais técnicas analíticas, desde a extração das matérias primas até a disposição final, como uma maneira de dar uma idéia para a escolha de determinada técnica analítica em função de precisão de resultados, tempo, custos e de se efetuar prevenção à poluição e produção mais limpa.

Para melhorar a conscientização, a um nível mais amplo, pretende-se fazer um filme sobre procedimentos de prevenção à poluição e produção mais limpa em laboratório e divulgar este projeto na forma de palestras, artigos técnicos, encontros e seminários.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANDRADE, Rui O. B., CARVALHO, Ana B., TACHIZAWA, Takesky. *Gestão ambiental*. São Paulo: Makron Books do Brasil Editora Ltda. 2000. 206 p.
2. BRASIL - MINISTÉRIO DAS RELAÇÕES EXTERIORES *Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento*. Brasília: Centro de Documentação e Informação – Coordenação de Publicações. 1995. 471p
3. CONSULTANCE AND RESEARCH FOR ENVIRONMENTAL MANAGEMENT-CREM. *Environment quick scan furniture-1998 update*. 2<sup>nd</sup> ed. Netherlands: CREM. 1998. 149 p.
4. MAZZINI, A.L.D.A. *Dicionário Educativo de Termos Ambientais*. Minas Gerais: Fundação Estadual do Meio Ambiente-FEAM. CD-Graf Publicações Eletrônicas Ltda. 2001.
5. GUTBERLET, Jutta. *Produção, Consumo e Cidadania*. In: *Meio Ambiente Industrial*. ed 24, nº 23, março/abril. São Paulo: Tocalino. 2000. p 43.
6. MINISTÉRIO do Meio Ambiente rediscute selos ambientais. *Revista Meio Ambiente Industrial*. ano I. ed 24, nº 23, mar-abr. São Paulo. SP: Tocalino Ltda. p30. 2000
7. ANDRADE, Daniel Fonseca. Implantação de educação Ambiental em Escolas: uma reflexão. in: *Revista Eletrônica do Mestrado em Educação Ambiental*. Fundação Universidade de Rio Grande. volume 4. out/nov/dez. Rio Grande. RS. 2000. disponível em <http://www.sf.dfis.furg.br/mea/remea/vol4c/daniel.htm> Extraído da internet em 17/08/2001.
8. CAHALI, Yussef (organizador). *Constituição Federal – Código Civil – Código de Processo Civil*. 3ª ed. Rio de Janeiro: revista Tribunias. 2001. p.1328
9. FILHO, Nilson Paim de Abreu (org). *Constituição Federal*. Porto Alegre: Editora Verbo Jurídico. 2001. 287p.
10. FEDERAÇÃO DAS ASSOCIAÇÕES DE MUNICÍPIOS DO RIO GRANDE DO SUL – FAMURS. *Meio ambiente na administração municipal*. Porto Alegre. [2000]. 189 p.



11. GOVERNO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL e SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE. *Código do Meio Ambiente*. Porto Alegre. RS. 2000. 107 p.
12. LEONARDI, Maria L. Azevedo. A educação ambiental como um instrumento de superação da insustentabilidade da sociedade atual. in: *Meio ambiente, desenvolvimento sustentável e políticas públicas*. CAVALCANTI, Clóvis (org). 3ª ed. São Paulo. SP: Cortez Editora. 1997. p 397-398.
13. MINISTÉRIO DE EDUCAÇÃO (Brasil). *Educação Ambiental – Ações*. disponível em [www.mec.gov.br/sef/ambiental/acoes.htm](http://www.mec.gov.br/sef/ambiental/acoes.htm). Extraído da internet em 12/10/2001.
14. CARVALHO, Vilson Sérgio de. A Educação Ambiental Nos PCNs: O Meio Ambiente como tema transversal. in: *Educação Ambiental: transversalidade em Questão*. Organizado por MATA, Speranza França da, GAVAZZA, Sérgio e Maria Cândida M. de. Rio de Janeiro: MZ editora Ltda. 2000. p.33 – 43.
15. HALE, Mônica. Ecolabelling and Cleaner Production: principles, problems and training in relation to the adoption of environmental sound production process. in: *J. Cleaner Productin*. v. 4, nº 2. Great Britain: Elsevier Science. 1996. p. 85-95.
16. ABNT. NBR-ISO14001. *Sistema de Gestão Ambiental – especificações e diretrizes para uso*. 1996. 19 p.
17. [ AQUATEC]. *A benchmark of current cleaner production practices Submitted to Cleaner Industries Sections-* Environmental Protection group. Australia: Environmental Australia. 1997. disponível em <http://www.ea.gov.au/industry/eecp/publications/pub/benchmark.pdf>. Extraído da internet em 06/10/2001..
18. UNEP. *Cleaner Production assessment in metal finishing. Industrial sector guide*. [Danish]: Environmental protection Agency & Cowi Consulting Engineers and Planners. 1999. 111p
19. \_\_\_\_\_. *Eco Efficiency and Cleaner Production – What's the difference?* disponível em <http://ea.gov.au/industry/eecp/tools12.html>. Extraído da internet em 12/10/2001.
20. \_\_\_\_\_. *Cleaner Production Key Elements*. disponível em [http:// unepi-e.org/pc/understanding/cp/home.htm](http://unepi-e.org/pc/understanding/cp/home.htm). extraído da internet em 12/10/2001.
21. \_\_\_\_\_. *Cleaner production. Related Concepts*. disponível em [http:// unepi-e.org/pc/understanding/cp/home.htm](http://unepi-e.org/pc/understanding/cp/home.htm). extraído da internet em 12/10/2001
22. EPA. *Pollution Prevention solutions during permitting, inspections e enforcement*. EPA/530–R-98-015-dez/98. disponível em <http://www.epa.gov/epa.oswer/minimize/handbook.pdf>. Extraído da internet em 07/02/2001.
23. GTZ-3PU BONN & FUNDAÇÃO EMPREENDER BRAZIL. *Applying Good house-keeping*. Example nº 1. Bonn. Germany.[ 2000 ].12 p
24. ALEMANHA - MINISTÉRIO FEDERAL DA COOPERAÇÃO TÉCNICA E DO DESENVOLVIMENTO (BMZ) e COOPERAÇÃO TÉCNICA ALEMÃ(GTZ). *Programa*

*Piloto para a Promoção da Gestão Ambiental no setor privado dos Países em vias de Desenvolvimento(P3U). Gestão Ambiental rentável. Boletim técnico 29/08/00. [Joinville, Santa Catarina, Brasil: Fundação Empreender]. 2000. 14p*

25. EUROPEAN IPPC BUREAU. *Technologies for Sustainable Development. Integrated Pollution Prevention and Control. Reference Document on Best Available Techniques in Common WasteWater and Waste Gas. Treatment/Management Systems in the Chemical Sector.* Spain. Seville. 2000. 235p.

26. CENTRO MEXICANO PARA LA PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA – INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL. *Producción más limpia en el sector de galvanoplastia.* Três Guerras. México: Dirección de Publicaciones 4 materiales educativos. 1997. 81p.

27. GUNNINGHAMI, Neil, SINCLAIR, Darren and BURRIT, Patricia. *Acel final report: barriers and motivators to the adoption of cleaner production practices.* Canberra. Austrália: Australian Centre for Environmental Law – the Australian Nation University. July. 1997. disponível em <http://www.ea.gov.au/industry/eecp/publications/barries.html>. Extraído da internet em 12/10/2001.

28 MAHMOUD, El – Halwagi. *Pollution Prevention through process integration systematic design tools.* California : Academic Press, 1997. 318P.

29. CETESB – SETOR DE TÉCNICAS DE PREVENÇÃO À POLUIÇÃO. *Relatórios Ambientais. Metodologia para a implantação de um programa de P2.* São Paulo. SP.[2000]. 17p.

30. SLATER, D. Waste Minimization in the Context of Integrated Pollution Control. in: *Waste Minimization a Chemist Approach.* Edited by Martin, K and Bastock, T. W. Cambridge: The Royal Society of Chemistry. 1994. p 93-106 .

31. LAING, I. G. Waste minimization. in: *Waste Minimization a Chemist Approach.* edited by Martin, K and Bastock, T. W. Cambridge: The Royal Society of Chemistry. 1994. p.11-19.

32. MANAHAN, Stanley. *Environmental Chemistry.* 7<sup>th</sup> ed. Boca Raton, Florida.U.S.: Lewis Publishers. 1999. 898p.

33. NOYES, Robert. *Pollution Prevention Technology Handbook.* New York: Noyes Publications.1993. 683p.

34. EPA. *Guides to pollution prevention. Research and Educational Institutions,* epa/625/7-90/010. Washington, DC: Office of research and development. june 1990. 48p

35. MANAHAN, Stanley. *Hazardous waste chemistry, toxicology and treatment.* Michigan, US: Lewis publishers. 1990. 377p.

36. HIDALGO, M., RIERADEVALL, J.,VALIENTE, M. Laboratory wastes. Chemical Wastes' Minimization in University Laboratories. in: *Waste Minimization and Clean Production (proceedings of the 2<sup>nd</sup> International Conference, Barcelona 7-9 june 1995).* Barcelona. Espanha: Generalitat de Catalunya, departament de medi ambient. 1995. p 65-173.

37. CARSON, P.A. , MUNFORD, C. J. *The safe handling of chemicals in industry.* New

York, US: Longmann Scientific & Technical. 2<sup>nd</sup> ed. 1988. 1089 p.

38. EPA. *Research and educational laboratory waste reduction*. disponível em <http://www.epa.oh/opp/fact16-web.pdf>. novembro 1997. Extraído da internet em 16/03/2001

39. ARIZONA DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL QUALITY- POLLUTION PREVENTION UNIT & UNIVERSITY OF ARIZONA – DEPARTMENT OF RISK MANEGEMENT. disponível em <http://www.azpmining.org/lab.web.html>. Extraído da internet em 12/04/2002.

40. AMERICAN CHEMICAL SOCIETY. *Less is better : Laboratory Chemical manege-ment for waste Reduction*. Department of Government Relations and Science Policy. Washington, D.C.: ACS. disponível em <http://www.acs.org.govt/pubs/5st45b.htm>. extraído da internet em 12/02/2001.

41. NATIONAL RESEARCH COUNCIL. *Prudent practices in the laboratory. Handling and disposal of chemicals*. Washington, D.C. : Academic Press. 1995. 427p.

42. EPA. *School Science lab. Pollution Prevention*. disponível em <http://www.epa.gov/reg3p2p2/labs.html>. Extraído da internet em 16/03/2001

43. FLORIDA UNIVERSITY. *Hazard waste minimization guide*. disponível em <http://www.ehs.ufl.edu/HMM/default.asp>. Extraído da internet em 12/04/2001

44. FLORES, Elizabeth, SKUMANISCH, Marina, DAVIS, Michelle, HAUTH, Joe, WIERINGA, Doug. *Laboratory waste minimization and Pollution prevention. A Guide for Teachers*. Seattle: Batelle research center. March 1996. disponível em <http://www.seattle.battelle.org/services/e%26s/p2LabMan/>. Extraído da internet em 11/03/2001.

45. AMERICAN CHEMICAL SOCIETY. *Laboratory waste management: a guide book*. US: American Chemistry Society. 1994. 211P.

46. DEL PINO, José Cláudio, KRÜGER, Verno. *Segurança em laboratório*. Porto Alegre: CECIRS. 1994. 131 p.

47. FREEMAN, N. T . ,WHITEHEAD, J. *Introduction to safety in the chemical labora-tory*. London : Academic Press, Inc. 1982. 243p.

48. LUNN, George, SANSONE, Eric B . *Destruction of hazardous chemicals in the labo-ratory*. 2<sup>nd</sup>. [US] : John Wiley & Sons, Inc. 1994. 501 p.

49. STANFORD UNIVERSITY. *Chemical inventory instructions and Laboratory Activa-tion*. disponível em [www.stanford.edu](http://www.stanford.edu). *Chemical hazard management*. disponível em <http://www.stanford.edu/deet/EHS/prod/enviro/waste/stanford.edu.index.html>. Extraído da internet em 12/04/2001.

50. INDIANA UNIVERSITY. *Environmental safety policy. Waste Minimization and pol-lution*. disponível em <http://ehs.iupui.edu/ehs/appeds.htm>. Extraído da internet em 12/04/2001.

51. TOLEDO UNIVERSITY. *Waste minimization specif methods*. Disponível em <http://www.utoledoedulaboratory> . Extraído da internet em 12/04/2001.
52. GERBASE, Annelise Engel. Ensino e química limpa – um desafio. in: *VII Encontro de Química da Região Sul. Destino dos resíduos de produtos químicos das universidades*. Santa Cruz do Sul, RS: Sociedade Brasileira de Química. 2000. p. 38- 40
53. SANTOS, Tatiana dos, MACHADO, Patrícia F.L., AMARAL Suzana, MARTINI, Emilse M.A. Projeto “Ensino e química limpa” – Atitudes do setor de química geral nas aulas de laboratório de graduação do Instituto de Química da UFRGS. in: *VII Encontro de Química da Região Sul. Destino dos resíduos de produtos químicos das universidades*. Santa Cruz do Sul, RS: Sociedade Brasileira de Química. 2000. TR - 08
54. AMARAL, Suzana, MACHADO, Patrícia, PERALBA, Maria do Carmo, CAMARA, Maria Regina, SANTOS, Tatiana, BERLEZE, Ana Lúcia, FALCÃO, Humberto L., MARTINELLI, Márcia, GONÇALVES, Reinaldo, OLIVEIRA, Eduardo R., BRASIL, Jorge L., ARAÚJO, Marco Aurélio de, BORGES, Antônio Cesar A. Relato de uma experiência: recuperação e cadastramento de resíduos dos laboratórios de graduação do Instituto de química da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. *Química Nova*. volume 24, nº 3. São Paulo: S B Q. 2001. p. 419-423.
55. OLIVEIRA, Eduardo R., PETZHOLD, César L., MACHADO, Regis B., FALCÃO, Humberto L. Uma experiência de coleta seletiva de resíduos nas aulas de Química Orgânica experimental I. in: *VII Encontro de Química da Região Sul. Destino dos resíduos de produtos químicos das universidades*. Santa Cruz do Sul, RS: Sociedade Brasileira de Química. 2000. TR - 05
56. BERLEZE, Ana Lúcia, SANTOS, Tatiana dos, FALCÃO, Humberto L., AMARAL, Suzana T. Rótulos padronizados para caracterização dos resíduos dos laboratórios de graduação dos laboratórios de graduação do Instituto de Química da UFRGS in: *VIII Encontro de Química da Região Sul. Destino dos resíduos de produtos químicos das universidades*. Santa Cruz do Sul, RS: Sociedade Brasileira de Química. 2000. TR - 04
57. SANTOS, Tatiana dos, FALCÃO, Humberto L., BERLEZE, Ana Lúcia, AMARAL, Suzana T. Programa de cadastramento para os resíduos dos laboratórios de graduação do Instituto de Química da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. in: *VIII Encontro de Química da Região Sul. Destino dos resíduos de produtos químicos das universidades*. Santa Cruz do Sul, RS: Sociedade Brasileira de Química. 2000. TR - 06
58. SPANEMBERG, Gilson, VILLWOCK, JORGE A., FRANKENBERG, Cláudio, RODRIGUEZ, Maria Tereza, SOUZA, Patrícia, BUENO, Andréa, FINCO, Diana. Programa de gerenciamento de resíduos da PUCRS. in: *VIII Encontro de Química da Região Sul. Destino dos resíduos de produtos químicos das universidades*. Santa Cruz do Sul, RS: Sociedade Brasileira de Química. 2000. TR - 022 .
59. LEBEDEFF, Y. B., BASTOS, A. L., BIASIN, M., VAZ, D. A.. Gestão de resíduos nos laboratórios de química orgânica. in: *VIII Encontro de Química da Região Sul. Destino dos resíduos de produtos químicos das universidades*. Santa Cruz do Sul, RS: Sociedade Brasileira de Química. 2000. TR - 01 .
60. FREITAS, J. M., OLIVEIRA, S.D., TARABAL, T. N., OLIVEIRA, C., BIASIN, M.

- VAZ, D.A. Implementação do programa 5S aos laboratórios de Química Orgânica. in: *VIII Encontro de Química da Região Sul. Destino dos resíduos de produtos químicos das universidades*. Santa Cruz do Sul, RS: Sociedade Brasileira de Química. 2000. TR - 02
61. CORDEIRO, Lucélia Crossa, GONÇALVES, Paulo Romeu, KRAUSE, Laiza C., PORTO, Camila, BRITES, Gisele, KUNDE, Verlise L. O lixo químico na UFPel. in: *VIII Encontro de Química da Região Sul. Destino dos resíduos de produtos químicos das universidades*. Santa Cruz do Sul, RS: Sociedade Brasileira de Química. 2000. TR - 09
62. CRUZ, Wilson, K., KIPPER, Liane, NASCIMENTO, Cristiane. AREOSA, Antônio, RUSSO, Suzana, BECKER, Diana S., GOETTEMS, Márcia, DREHER, LERÍPIO, Alexandre de A. Problema dos resíduos laboratoriais na UNISC. Laboratórios de solos, na ótica de G. A. I. A. Gerenciamento de aspectos e impactos ambientais. in: *VIII Encontro de Química da Região Sul. Destino dos resíduos de produtos químicos das universidades*. Santa Cruz do Sul, RS: Sociedade Brasileira de Química. 2000. TR - 07
63. DEBACHER, Nito Angelo. O destino dos resíduos químicos. in: *VIII Encontro de Química da Região Sul. Destino dos resíduos de produtos químicos das universidades*. Santa Cruz do Sul, RS: Sociedade Brasileira de Química. 2000. p. 37-38.
64. CUNHA, Carlos Jorge da. O programa de gerenciamento dos resíduos laboratoriais do Depto de Química da UFPR. *Química Nova*. v. 24, nº 3. São Paulo: SBQ. 2001. p. 424-427 .
65. COELHO, Fernando. Implementando uma política de gerenciamento de resíduos químicos. in: *VIII Encontro de Química da Região Sul. Destino dos resíduos de produtos químicos das universidades*. Santa Cruz do Sul, RS: Sociedade Brasileira de Química. 2000. p. 35-36
66. JARDIM, Wilson Figueiredo. Gerenciamento de resíduos químicos em laboratórios de ensino e pesquisa. *Química Nova*. v 21. nº 5. São Paulo: Sociedade Brasileira de Química. 1998. p. 671-673.
67. HASSE, Eloísa E. S., FARIAS, Maritana, ANTHONISEN, Denilson, GOBEL, Bianca B., MARTINS, Clarissa O., BOSENBECKER, Cristiane, PORCIÚNCULA, Elisângela S., VARGAS, Michelli, VINHAS, Patrícia. Gerenciamento dos resíduos gerados pelo curso de química do CEFET/RS. in: *VIII Encontro de Química da Região Sul. destino dos resíduos de produtos químicos das universidades*. Santa Cruz do Sul, RS: Sociedade Brasileira de Química. 2000. TR - 018
68. LEHN, André et al. Caracterização qualitativa e quantitativa do lixo gerado no CEFET/RS. in: *VIII Encontro de Química da Região Sul. Destino dos resíduos de produtos químicos das universidades*. Santa Cruz do Sul, RS: Sociedade Brasileira de Química. 2000. TR – 030.
69. SANTOS, Rosane Catarina, PEIXOTO, Décio P., DRUZZIAN, Ereci Terezinha, MÜLLER, Cláudia Odiléia. Sistematização do tratamento de resíduos líquidos gerados em laboratórios de ensino de química. in: *VIII Encontro de Química da Região Sul. Destino dos resíduos de produtos químicos das universidades*. Santa Cruz do Sul, RS: Sociedade Brasileira de Química. 2000. TR - 03
70. CAREY, Susan. Science education as conceptual change. *Journal of applied develop-*

*ment psychology*. 21(1). New York: Elsevier Science Inc. 2000. p.13-19.

71. HALE, Mônica. Training for environmental technologies and environmental management. *Journal of cleaner production*. v 3, issues1-2. march-jun New York. Elsevier Science Inc. 1995. p. 19 – 23.

72. GREENE, Jonathan. W. *Incorporation of pollution prevention principle into chemical science education*. Project for Master of Science. School of Public Health, Department of Environmental and Industrial Health, University of Michigan. july 1996. disponível em <http://www.umich.edu/~nppcpub/resoures/compendia/CHEMpdfs/index.html> extraído da internet em 20/08/2001.

73. FENNER, Kathrin, JÖDICKE, Gerald et al. Introducing integrated product and process development into the education of science and engineering undergraduates: a lecture course with an accompanying case-study programme at the ETH chemistry department. in: *Chemosphere* , nº43. Zürich, Switzerland: Elsevier Science Ltd. 2001. p 5-16.

74. BROSTOW, Witold. Instruction in materials science and engineering: modern technology and the new role of the teacher. in: *Materials Science & engineering*. A302 . Texas. USA: Elsevier Science B.V. p 181-185. 2001.

75. FIVIZZANI, Kenneth P., AMERICAN CHEMICAL SOCIETY. Chemical health and safety as a professional career. in: *Chemical Health & Safety*. november/ december. USA: Elsevier Science Inc. 1999. p 5-7.

76. MERRITT, Andy. Education: the chemistry between academia and industry. in: *DDT*. v. 6, nº 6, março 2001. UK: Elsevier Science Ltd. 2001. p 287, 399-400

77. INTEC. *Guia Técnico de Producción Limpia. Fondo de desarrollo e innovaion-corfo*. (FDI-CORFO). Chile. [1997]. 80 p.

78. ABIQUIM, PRÓ – QUÍMICA. *Manual para atendimento de emergências*. São Paulo. 1994.

79. FILHO, Armando Lopes da Silva. *Segurança Química. Risco Químico no Meio Ambiente de Trabalho*. São Paulo: LTr Editora Ltda. 1999.136p

80. BERNABEI, Dante, LAUTENSCHLAEGER, Ludwig. *Seguridad Manual para el Laboratorio*. 2ª edición. Alemanha: MerckKGaA. 1998. 236p.

81. JEFFERY, G. H., BASSET, J., MENDHAM, J., DENNEY, R.C. *VOGEL Análise Química Quantitativa*. Tradução de *Vogel's Textbook of Quantitative Chemical Analysis*. Traduzido por MACEDO, Horácio. 6ª ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan S. A. 1992. 712 p.

82. MENDHAM, J. M., DENNEY, R.C., BARDES, J.D., THOMAS, M. *VOGEL. Análise Química Quantitativa*. Tradução de *Vogel's Textbook of Quantitative Chemical Analysis*. Traduzido por AFONSO, Júlio C., AGUIAR, Paula Fernandes, ALENCASTRO, Ricardo Bicca. 6ª ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos. 2002

83. SKOOG, Douglas. A., WEST, Donald M., HOLLER, F. James. *Fundamentals of Analytical Chemistry*. 7<sup>th</sup>. ed. New York: Saunders College Publishing. 1996. 870p.
84. HARRIS, DANIEL. *Análise Química Quantitativa*. 5<sup>a</sup> ed. tradução *Quantitative Chemical Analysis*, New York: W.H. freeman and Company. 1999. traduzido por Riel, Carlos Alberto da Silva e Guarino, Alcides Wagner Serpa. Rio de Janeiro: LTC- Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda. 2001. 862p.
85. PORTELLA, Rosângela, PEREIRA, Rossane, ZANOTTA, Patrícia. Minimização de resíduos a partir de práticas alternativas em química analítica. in: *VIII Encontro de Química da Região Sul. Destino dos resíduos de produtos químicos das universidades*. Santa Cruz do Sul, RS: Sociedade Brasileira de Química. 2000. TR - 017
86. MONTEIRO, Almerinda, PETROBRÁS. *Curso: Estatística aplicada a laboratório*. in: *XXXV Congresso Brasileiro de Química setembro de 1995*. Salvador. Bahia: Refinaria Landulpho Alves. 1995. 82 p.
87. LEITE, Flávio. *Validação em Análise Química*. 3<sup>a</sup> ed. Campinas. São Paulo: Editora Átomo. 1998. 224 p.

## **ANEXOS**

**ANEXO 1 – DADOS DAS TURMAS DE TERCEIROS ANOS DO CURSO TÉCNICO EM QUÍMICO**

**ANEXO 2 – ROTEIRO PARA TRABALHO SOBRE RESÍDUOS DAS AULAS PRÁTICAS DE ANÁLISE**

**ANEXO 3 – RELATÓRIO DAS AULAS PRÁTICAS**

**ANEXO 4 – RÓTULO DE IDENTIFICAÇÃO DE RESÍDUOS/SOBRAS DE AULAS PRÁTICAS**

**ANEXO 5 – RELATÓRIO DE LEVANTAMENTO DE DADOS SOBRE QUANTIDADES DE REAGENTES, INSUMOS E RESÍDUOS DAS AULAS PRÁTICAS**



**ANEXO 6 – PLANILHA DE RESULTADOS DE AULAS PRÁTICAS**